ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1902 г. ТОМЪ 3 No. 6

Механизмъ вольтова столба

П. А. Зилова [1]).

Кинетическая теорія растворовъ, основанная Фантъ-Гоффомъ [2]) и развитая Аррениусомъ, дала возможность Нернсту объяснить происхожденіе *электрической разности контакта*, того явленія, которое интриговало физиковъ со временъ Вольты, т. е. въ теченіе цѣлаго столѣтія. Изложенію теоріи Нернста, объясняющей и механизмъ гальваническаго элемента, мы и посвятимъ настоящую статью.

Предварительно замѣтимъ, что электролитическіе растворы, способные пропускать чрезъ себя электрическій токъ, рѣзко отличаются отъ остальныхъ непроводящихъ растворовъ. Это отличіе заключается въ слѣдующемъ: для непроводящихъ растворовъ осмотическое давленіе получается одно и то же, будемъ-ли мы его вычислять по массѣ раствореннаго вещества (форм. 3а, стр. 223) или же опредѣлять изъ опыта (форм. 10, 10а, 10b, стр. 227); между тѣмъ для проводящихъ (электролитическихъ) растворовъ осмотическое давленіе, опредѣляемое изъ опыта, всегда больше вычисленнаго. Такъ какъ осмотическое давленіе пропорціонально числу растворенныхъ частицъ, то все происходитъ такъ, какъ если бы въ электролитическомъ растворѣ было больше раство-

---

[1]) Докладъ, читанный 23 дек. 1901 г. въ соединенномъ засѣданіи секцій химіи и физики XI Съѣзда русскихъ естествоиспытателей.

[2]) См. стр. 212.

ренныхъ частицъ, чѣмъ то можно ожидать, предполагая, что при раствореніи вещество дѣлится на свои химическія частицы. Для объясненія указанной особенности электролитическихъ растворовъ Арреніусъ принялъ, что въ нихъ частицы растворенна-го вещества (всѣ или только нѣкоторыя) диссоціируются на болѣе простыя частицы или даже на атомы, но непремѣнно соединенные съ электронами; это такъ называемые *іоны*. Въ этомъ состоитъ арреніусовская гипотеза *электролитической диссоціаціи*.

Электронъ, смотря по его знаку, обозначаютъ ⊕ или ⊖. Катіонъ или положительный іонъ представляетъ соединеніе частицы металла M съ однимъ или нѣсколькими электронами ⊕, и потому обозначается $\oplus_k M$, а аніонъ представляетъ соединеніе частицы R съ однимъ или нѣсколькими электронами ⊖, и обозначается $\ominus_k R$.

Опытъ показываетъ, что граммо-молекула одноатомнаго элемента бываетъ заряжена 96540 coul. электричества, двухатомнаго—2.96540 coul., трехатомнаго—3.96540 coul. и т. д. Въ нашей гипотезѣ это соотвѣтствуетъ тому, что іонъ одноатомнаго элемента образуется соединеніемъ частицы съ однимъ электрономъ, іонъ двухатомнаго элемента—соединеніемъ частицы съ двумя электронами и т. д.; вообще іонъ k-атомнаго элемента образуется соединеніемъ частицы съ k электронами. Слѣд. *атомностью* даннаго вещества называется число электроновъ, соединяющихся съ его частицею для образованія іона.

Теперь обратимся къ нашей задачѣ и объяснимъ происхожденіе *электрической разности контакта*. При этомъ разсмотримъ отдѣльно три случая: 1) контактъ двухъ жидкостей, 2) контактъ жидкости и металла и 3) контактъ двухъ металловъ.

Представимъ себѣ, что соприкасаются два одинакихъ электролитическихъ раствора, L_1 и L_2, различныхъ концентрацій, въ которыхъ господствуютъ осмотическія давленія P_1 и P_2. Изъ мѣста большаго давленія растворенное вещество (т. е. іоны) диффундирують въ мѣсто меньшаго давленія; но аніоны и катіоны перемѣщаются съ различными скоростями; если примемъ, что катіоны обладаютъ большею скоростью, чѣмъ аніоны, то изъ крѣпкаго раствора (L_1) въ слабый (L_2) переходятъ преимущественно катіоны, вслѣдствіе чего растворъ L_1 бѣднѣетъ положительными іонами и его потенціалъ уменьшается, а растворъ L_2 обогащается положительными іонами и его потенціалъ увеличивается; такимъ образомъ на поверхности раздѣла потенціалъ

измѣняется скачкомъ, здѣсь устанавливается электрическая разность.

Вотъ механизмъ возникновенія той таинственной „электрической разности контакта", которая такъ долго смущала ученыхъ. Имѣя въ виду этотъ механизмъ, нетрудно вычислить самую электрическую разность.

При описанномъ процессѣ растворенное вещество расширяется и при этомъ совершается работа, которая вычисляется также, какъ работа, совершаемая при расширеніи газа.

Если одна граммо-молекула растворенняго вещества (масса коей K) изъ состоянія (V_1, P_1) переходитъ въ состояніе (V_2, P_2), то совершается работа

$$w = KAT \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right), \qquad (1)$$

гдѣ A постоянная газовъ, T абсолютная температура раствора, P_1 и P_2 начальное и конечное осмотическія давленія раствора[1]).

Но въ данномъ случаѣ по раствору перемѣщаются іоны, при чемъ катіоны движутся въ одну сторону со скоростью c, а аніоны движутся въ противоположную сторону со скоростью a; такимъ образомъ изъ каждой граммо-молекулы іоновъ, проходящей чрезъ раздѣльную поверхность, часть $c/(a+c)$ проносится катіонами, а часть $a/(a+c)$ проносится аніонами; слѣд. искомая работа состоитъ изъ двухъ частей:

$$w_1 = \frac{c}{a+c}\, w, \quad w_2 = -\frac{a}{a+c}\, w,$$

и потому полная работа будетъ

$$W = w_1 + w_2 = \frac{c-a}{a+c} KAT \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right). \qquad (2)$$

---

[1]) Предыдущая формула получается такъ:

$$w = \int_{V_1}^{V_2} PdV;$$

но $PV = KAT$, слѣд. $PdV = -VdP = -KATdP/P$; поэтому

$$w = -\int_{P_1}^{P_2} VdP = -KAT \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{P} = KAT \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right).$$

При разсмотрѣнномъ процессѣ энергія растворовъ увеличивается, ибо одинъ изъ нихъ заряжается положительно, а другой отрицательно. Если разницу ихъ потенціаловъ назовемъ L_1/L_2, то при прохожденіи граммо-молекулы чрезъ раздѣльную поверхность, т. е. при переносѣ іонами ke электричества, энергія увеличивается на

$$\Delta E = ke(L_1/L_2), \tag{3}$$

гдѣ k есть атомность разсматриваемаго элемента. Понятно, что $W = \Delta E$ и потому

$$(L_1/L_2) = \frac{c-a}{a+c}\,\frac{KAT}{ke}\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right);$$

здѣсь $e = 96540$ coul., $KA = 8{\cdot}36.10^7$ erg (стр. 221), $KA/e = 0{\cdot}87.10^{-4}$ volt (ибо 10^7 erg $=$ volt $\times$ coul.); подставляя это значеніе KA/e въ предыдущую формулу и замѣчая, что $\log x = \mathrm{Log}(x)/0{\cdot}4343$, имѣемъ

$$(L_1/L_2) = \frac{2.10^{-4}}{k}\,\frac{c-a}{a+c}\,T\,\mathrm{Log}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)\text{ volt.}$$

Если $P_1 = P_2$ или $a = c$, то соприкасающіяся жидкости не электризуются, $(L_1/L_2) = 0$.

Совершенно подобнымъ же образомъ объясняется и образованіе электрической разности контакта двухъ разнородныхъ растворовъ.

4. Если электрическая разность контакта двухъ жидкостей объясняется такъ естественно, то для объясненія электрической разности отъ контакта металла и жидкости приходится дѣлать новыя гипотезы. Во-первыхъ примемъ, что не только въ электролитахъ, но и во всѣхъ тѣлахъ, между прочимъ и въ металлахъ, всегда имѣются нейтральные электроны ($+\ominus$), которые, вступая въ соединенія съ частицами металла, образуютъ іоны ($M+$ и $M\ominus$). Далѣе примемъ, что способностью растворяться въ водѣ обладаютъ не только соли, но также и металлы[1]). Но для того, чтобы это допущеніе согласовать съ фактами, о которыхъ будемъ говорить ниже, необходимо еще принять, что при сво-

---

[1]) Металлы даже испаряются; этимъ объясняется „запахъ" нѣкоторыхъ металловъ, какъ напр. мѣди.

емъ раствореніи металлъ выдѣляетъ частицы, соединенныя съ положительными электронами, т. е. катіоны, и не выдѣляетъ частицъ съ отрицательными электронами, т. е. аніоновъ, которые остаются внутри металла.

Допуская, что металлы способны растворяться, мы и имъ —подобно тому, какъ это дѣлаемъ по отношеніи къ солямъ—припишемъ упругость растворенія: погруженный въ воду или водный растворъ, металлъ—дѣйствіемъ своей упругости растворенія—растворяется, т. е. выдѣляетъ изъ себя катіоны. Осмотическое давленіе катіоновъ, находящихся въ окружающемъ растворѣ, противодѣйствуетъ упругости растворенія металла. Каждому металлу свойственна своя опредѣленной величины упругость растворенія; для нѣкоторыхъ металловъ она очень велика, для нѣкоторыхъ другихъ очень мала.

Обозначимъ чрезъ Π упругость растворенія металла и чрезъ P—осмотическое давленіе катіоновъ (т. е. іоновъ того же металла) окружающаго раствора. Разсмотримъ случаи $\Pi > P$, $\Pi = P$ и $\Pi < P$.

Если $\Pi > P$, то катіоны металла переходятъ отчасти въ окружающую жидкость; будучи сперва ненаэлектризованъ (т. е. съ равными числами положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ), металлъ—вслѣдствіе потери своихъ катіоновъ—заряжается отрицательно, а окружающая жидкость, получивъ эти катіоны, заряжается положительно. Это раствореніе металла сопровождается электрическимъ токомъ, направленнымъ изъ металла въ жидкость. Кусокъ металла, опущенный въ жидкость, растворялся бы непрерывно, если бы его упругость растворенія не уравновѣшивалась другими силами, направленными изъ жидкости въ металлъ; такими силами въ данномъ случаѣ являются во-первыхъ осмотическое давленіе металлическихъ іоновъ окружающаго раствора, а во-вторыхъ силы, развивающіяся на поверхности соприкосновенія положительно заряженной жидкости съ отрицательно заряженнымъ металломъ. По мѣрѣ накопленія катіоновъ въ жидкости, обѣ эти силы, направленныя противъ упругости растворенія, возростаютъ, и наконецъ устанавливается равновѣсіе. Вслѣдствіе громадныхъ зарядовъ іоновъ это равновѣсіе наступаетъ раньше, чѣмъ замѣтная масса металла успѣетъ перейти въ растворъ. Между отрицательно заряженнымъ металломъ и положительно заряженною жидкостью устанавливается электрическая разность контакта.

Если $\Pi = P$, то металлъ не выдѣляетъ своихъ катіоновъ; ни металлъ, ни жидкость не заряжаются и на ихъ поверхности соприкосновенія не устанавливается электрической разности.

Если $\Pi < P$, то катіоны раствора устремляются на металлъ, вслѣдствіе чего металлъ заряжается положительно, а окружающая жидкость—отрицательно. Это осажденіе катіоновъ сопровождается электрическимъ токомъ, направленнымъ изъ жидкости въ металлъ. Понятно, что здѣсь скоро устанавливается равновѣсіе.

Опытъ показалъ, что большинство неблагородныхъ и щелочныхъ металловъ (Zn, Cd, Co, Ni, Fe и др.), погруженныхъ въ растворъ соотвѣтствующей соли, всегда заряжается отрицательно; это значитъ, что ихъ упругость растворенія на столько велика, что—при ограниченной растворимости солей—одно осмотическое давленіе металлическихъ іоновъ раствора никогда не можетъ уравновѣсить упругость растворенія этихъ металловъ. Другіе металлы (Ag, Hg, Cu и др.) всегда заряжаются положительно; слѣд. ихъ упругость растворенія очень мала; лишь въ очень слабыхъ растворахъ эти металлы заряжаются отрицательно.

Наконецъ встрѣчаются металлы (напр. Pb), упругость растворенія которыхъ мало отличается отъ осмотическаго давленія растворовъ; для нихъ можно приготовить растворы, осмотическое давленіе которыхъ больше или меньше ихъ упругости растворенія; такіе металлы заряжаются отрицательно (выдѣляютъ катіоны въ растворѣ) или положительно (получаютъ катіоны изъ раствора), смотря по обстоятельствамъ.

Было сказано, что при погруженіи металла въ растворъ выдѣленіе металлическихъ іоновъ (изъ металла въ растворъ или обратно) совершается въ незамѣтныхъ массахъ, ибо развивающіяся при этомъ электрическія силы скоро пріостанавливаютъ этотъ процессъ. Впрочемъ если непрерывно устранять заряды металла и окружающей жидкости, то раствореніе или осажденіе можно поддерживать неопредѣленно долго и тогда въ этихъ процессахъ металлы принимаютъ участіе замѣтными массами.

Приведемъ одинъ опытъ, который обнаруживаетъ описанные процессы. Въ цилиндрическій стаканъ наливаютъ сперва крѣпкій растворъ хлористаго олова, а поверхъ него очень слабый растворъ или даже воду (вторую жидкость надо налить осторожно, чтобы не перемѣшать ее съ первою); затѣмъ въ стаканъ опускаютъ палочку олова, доходящую почти до дна ста-

кана; часа чрезъ два оловянная палочка оказывается вверху разъѣденною, а внизу покрытою дендревидными наростами. Это объясняется тѣмъ, что въ слабомъ растворѣ $\Pi > P$, и верхняя часть нашей палочки растворяется, а въ крѣпкомъ растворѣ $\Pi < P$, и олово изъ раствора осаждается на нижнюю часть палочки. Въ данномъ случаѣ олово растворяется и осаждается въ замѣтныхъ количествахъ, ибо равновѣсія никогда не можетъ быть и процессы могутъ продолжаться непрерывно: оловянная палочка служитъ не только электродами, но и соединительнымъ между ними проводникомъ, по которому электроды разряжаются.

5. Повторяя разсужденія, изложенныя выше, нетрудно найти электрическую разность контакта металла и жидкости. Называя ее (M/L), найдемъ, что при переходѣ изъ металла въ жидкость p граммо-молекулъ катіоновъ (изъ коихъ каждая заряжена ke coul. электричества) энергія нашей системы увеличивается на

$$\Delta E = pke\,(M/L).$$

Внутри металла господствуетъ давленіе равное его упругости растворенія, которое обозначимъ Π; въ жидкости господствуетъ осмотическое давленіе P; слѣд. работа, совершаемая при переходѣ p граммо-молекулъ катіоновъ изъ металла въ жидкость, можетъ быть представлена еще такъ:

$$W = pKAT\log\left(\frac{\Pi}{P}\right).$$

Такъ какъ $W = \Delta E$, то

$$(M/L) = \frac{KAT}{ke}\log\left(\frac{\Pi}{P}\right)\ \text{volt.}, \tag{4}$$

или, подставляя сюда числовыя значенія KA/e и замѣняя неперовы логариѳмы бригговыми,

$$(M/L) = \frac{2.10^{-4}}{k}\,T\,\mathrm{Log}\left(\frac{\Pi}{P}\right)\ \text{volt.} \tag{4a}$$

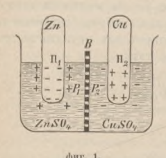
Замѣтимъ, что выведенныя формулы нельзя примѣнять къ опредѣленію электрической разности металла и чистой воды; дѣйствительно для послѣдней $P = 0$ и $(M/L) = \infty$. Этотъ результатъ показываетъ, что металлъ и соприкасающаяся *чистая*

вода не могутъ оставаться въ равновѣсіи; согласно съ нашими представленіями металлъ, придя въ прикосновеніе съ чистою водою, выдѣляетъ въ нее свои катіоны, послѣ чего мы имѣемъ растворъ съ бóльшимъ или меньшимъ осмотическимъ давленіемъ.

6. На основаніи принятыхъ выше гипотезъ можно, хотя въ общихъ чертахъ, объяснить и происхожденіе электрической разности отъ контакта двухъ металловъ.

По нашимъ представленіямъ внутри каждаго металла имѣются легкоподвижные катіоны, которые могутъ даже его оставлять. Примемъ еще, что въ различныхъ металлахъ катіоны обладаютъ различными подвижностями и что—при соприкосновеніи двухъ различныхъ металловъ—катіоны одного изъ нихъ легче переходятъ въ другой, чѣмъ наоборотъ; въ такомъ случаѣ первый металлъ заряжается отрицательно, а второй—положительно.

7. Послѣ всего сказаннаго уже нетрудно объяснить „механизмъ" гальваническаго элемента. Для большей опредѣленности будемъ имѣть въ виду даніэлевскій элементъ, какъ типъ полнаго элемента. Кусокъ цинка погруженъ въ растворъ цинковой соли (напр. $ZnSO_4$) и кусокъ мѣди погруженъ въ растворъ мѣдной соли ($CuSO_4$); жидкости раздѣлены пористою перегородкою *B* (фиг. 1); цинкъ, благодаря своей большой упругости растворенія, выдѣляетъ въ растворъ нѣкоторое число положительныхъ іоновъ, а на мѣдь, упругость растворенія которой очень мала, осаждаются мѣдные іоны изъ раствора мѣднаго купороса; вслѣдствіе этого цинкъ элемента заряжается отрицательно, а мѣдь—положительно.



фиг. 1.

Если элементъ не замкнутъ, то этимъ все и ограничивается. Если же элементъ замкнутъ, то раствореніе цинка и осажденіе на мѣдь будутъ происходить непрерывно и электричество изъ мѣди будетъ непрерывно перетекать въ цинкъ по соединительной проволокѣ. Изъ сказаннаго ясно, что раствореніе цинка и осажденіе мѣди изъ раствора, наблюдаемыя въ замкнутомъ даніэлѣ, не суть результаты прохожденія іона, а наоборотъ происходятъ сами собою и вызываютъ токъ. Чѣмъ слабѣе растворъ цинковаго купороса, окружающій цинкъ (металлъ, выдѣляющій

катіоны), и чѣмъ крѣпче растворъ мѣднаго купороса (растворъ, выдѣляющій катіоны), окружающій мѣдь, тѣмъ благопріятнѣе условія для описаннаго процесса и тѣмъ лучше дѣйствуетъ даніэлевскій элементъ.

Такимъ образомъ гальваническій элементъ представляетъ аналогію съ пневматическою машиною: какъ дѣйствіе послѣдней обусловливается переходомъ воздуха изъ мѣста большаго давленія въ мѣсто меньшаго давленія, такъ и дѣйствіе гальваническаго элемента обусловливается переходомъ электроновъ изъ металла съ большею упругостью растворенія въ металлъ съ меньшею упругостью растворенія.

8. Мы можемъ наконецъ вычислить электродвижущую силу гальваническаго элемента. Будемъ имѣть въ виду типъ полнаго элемента, какъ напр. элемента Даніэля, состоящаго изъ двухъ различныхъ металловъ, M_1 и M_2, погруженныхъ въ раздѣленные пористою перегородкою растворы солей этихъ металловъ, M_1S и M_2S. Электродвижущая сила E такого элемента складывается изъ четырехъ электрическихъ разностей M_1/M_1S, M_1S/M_2S, M_2S/M_2 и M_2/M_1, имѣющихъ мѣсто на четырехъ поверхностяхъ контакта:

$$E = M_1/M_1S + M_1S/M_2S + M_2S/M_2 + M_2/M_1. \qquad (6)$$

Но, какъ показалъ опытъ, M_2/M_1 всегда очень мало, и потому послѣднимъ членомъ нашей суммы можно пренебречь; остальныя электрическія разности можно выразить по форм. (4) и (5) чрезъ упругости растворенія металловъ, Π_1 и Π_2, и осмотическія давленія катіоновъ растворовъ, P_1 и P_2; такимъ образомъ

$$E = \frac{2.10^{-4}}{k} T\left\{\operatorname{Log}\left(\frac{\Pi_1}{P_1}\right) + \frac{c-a}{a+c}\operatorname{Log}\left(\frac{P_1}{P_2}\right) + \operatorname{Log}\left(\frac{P_2}{\Pi_2}\right)\right\} \text{volt}. \qquad (7)$$

Въ большинствѣ случаевъ a и c очень близки между собою и потому среднимъ членомъ правой части можно пренебречь; въ такомъ случаѣ

$$E = \frac{2.10^{-4}}{k} T\left\{\operatorname{Log}\left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2}\right) - \operatorname{Log}\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\right\} \text{volt}. \qquad (7a)$$

9. Приложимъ выведенныя формулы къ изслѣдованію различныхъ элементовъ.

Разсмотримъ сначала даніэлевскій элементъ съ цинкомъ и мѣдью; скорости іоновъ Cu и Zn почти одинаковы и потому можно примѣнять форм. (7а); такъ какъ въ этомъ случаѣ $k=2$, то

$$E = 10^{-4} T \left\{ \mathrm{Log}\left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2}\right) - \mathrm{Log}\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \right\} \tag{8}$$

Изъ этой формулы выводимъ рядъ слѣдствій, характеризующихъ элементъ Даніэля.

1) Въ форм. (8) вовсе не входятъ величины, зависящія отъ аніоновъ; слѣд. электродвижущая сила даніэлевскаго элемента не зависитъ отъ природы аніоновъ. Опытъ вполнѣ оправдываетъ это заключеніе: элементъ $Zn/ZnSO_4/CuSO_4/Cu$ имѣетъ $E = 1{\cdot}096$, а элементъ $Zn/Zn(C_3H_3O_2)/Cu(C_3H_3O_2)/Cu$ имѣетъ $E = 1{\cdot}104$ volt.

2) Электродвижущая сила даніэлевскаго элемента постоянна, если—съ измѣненіемъ концентрацій растворовъ—отношеніе P_1/P_2 остается постояннымъ.

Если концентраціи обоихъ растворовъ одинаковы ($P_1 = P_2$), то электродвижущая сила элемента не зависитъ отъ концентрацій растворовъ; такой элементъ называется *нормальнымъ даніэлемъ*; его формула обращается въ

$$E = 10^{-4}\, T\, \mathrm{Log}\left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2}\right). \tag{8a}$$

Измѣренія показали, что при 18° Ц. электродвижущая сила нормальнаго даніэля = 1·1 volt.

3) Электродвижущая сила даніэля должна возростать съ уменьшеніемъ P_1 и съ увеличеніемъ P_2, т. е. съ разбавленіемъ раствора цинковаго купороса и съ увеличеніемъ концентраціи раствора мѣднаго купороса; этимъ оправдывается давно установленное эмпирическое правило: погружать мѣдь въ насыщенный растворъ мѣднаго купороса, а цинкъ—въ слабый растворъ цинковаго купороса.

Незначительныя колебанія концентрацій мало вліяютъ на электродвижущую силу даніэля; такъ съ измѣненіемъ P_1/P_2 отъ 1 до 10 (при 18° Ц.) его электродвижущая сила измѣняется на 0·029 volt.

Впрочемъ вліяніе значительныхъ измѣненій концентрацій на электродвижущую силу даніэля можно легко обнаружить. Приготовимъ два даніэля: одинъ съ нормальнымъ растворомъ цинко-

ваго купороса (161 gr. $ZnSO_4$ на литръ воды) и 1/1000 norm. мѣднаго купороса, другой съ 1/000 norm. цинковаго купороса и съ нормальнымъ растворомъ мѣднаго купороса (159 gr. $CuSO_4$ на литръ воды); испытывая послѣдовательно такіе элементы лекціоннымъ гальванометромъ, видимъ, что первый даетъ едва замѣтное отклоненіе стрѣлки, а второй выбрасываетъ ее изъ шкалы.

4) Изъ форм. (8) видно, что электродвижущая сила даніэля исчезаетъ, когда

$$10^{-4}\,T\operatorname{Log}\left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2}\right) = 10^{-4}\,T\operatorname{Log}\left(\frac{P_1}{P_2}\right);$$

но здѣсь первая часть есть электродвижущая сила нормальнаго даніэля т. е. $= 1{\cdot}1$ volt.; слѣд. электродвижущая сила даніэля исчезаетъ, когда

$$10^{-4}\,T\operatorname{Log}\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = 1{\cdot}1,$$

откуда $P_1/P_2 = 10^{38}$; вотъ во сколько разъ растворъ цинковаго купороса долженъ быть крѣпче раствора мѣднаго купороса, чтобы электродвижущая сила даніэля исчезла. Наконецъ если P_1/P_2 станетъ еще больше, то электродвижущая сила даніэля перемѣнитъ знакъ.

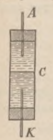
Для уменьшенія осмотическаго давленія іоновъ мѣди можно въ растворъ мѣднаго купороса даніэля опустить кусокъ ціанистаго калія; тогда почти всѣ іоны мѣди исчезаютъ, замѣняясь сложными іонами C_4N_4Cu; по мѣрѣ растворенія ціанистаго калія электродвижущая сила даніэля убываетъ, затѣмъ исчезаетъ и наконецъ мѣняетъ свое направленіе: въ жидкости токъ идетъ отъ мѣди къ цинку, на мѣди выдѣляются пузырьки водорода, а на цинкѣ (если элементъ замкнуть надолго) наростаютъ дендревидные кристаллы.

10. Даніэль представляетъ собою типъ полнаго элемента; ему соотвѣтствуетъ форм. (7а); когда же въ этой формулѣ исчезаетъ первый или второй членъ, то это соотвѣтствуетъ неполнымъ элементамъ; понятно, что можетъ быть два типа неполныхъ элементовъ.

1) Если $\operatorname{Log}(\Pi_1/\Pi_2) = 0$ или $\Pi_1 = \Pi_2$, то (7а) обращается въ

$$E = -\frac{2.10^{-4}}{k}\,T\operatorname{Log}\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\text{volt.} \qquad (9)$$

Условіе $\Pi_1 = \Pi_2$ означаетъ, что металлы элемента одинаковы; такъ какъ P_1 не равно P_2, то наши металлы должны быть погружены въ растворы различной концентраціи; такіе элементы называются *концентраціонными элементами*. Устроить концентраціонный элементъ можно такимъ образомъ: въ вертикальную трубку C (фиг. 2), закрытую снизу пробкою съ проходящею чрезъ нее мѣдною проволокою K, наливаютъ сперва насыщенный растворъ хлористой мѣди, а затѣмъ слабый растворъ той же соли; въ верхнюю жидкость погружаютъ вторую мѣдную проволоку A. Если электроды A и K соединить съ чувствительнымъ гальванометромъ, то стрѣлка его отклонится; токъ продолжается пока—вслѣдствіе диффузіи—концентраціи растворовъ не сравняются.



Фиг. 2.

Въ предыдущую формулу не входятъ величины, зависящія отъ природы металловъ или іоновъ; въ виду этого концентраціонный элементъ позволяетъ удобно провѣрять въ отдѣльности зависимость электродвижущей силы отъ концентрацій растворовъ. Чѣмъ крѣпче одинъ растворъ и слабѣе другой, тѣмъ больше электродвижущая сила. При равноатомныхъ іонахъ мы имѣемъ одну и ту же электродвижущую силу не зависимо отъ металловъ и іоновъ концентраціоннаго элемента, если только P_1/P_2 постоянно, т. е. если отношеніе концентрацій растворовъ одинаково; такъ напр. элементы

$$Hg/SO_4Hg_2\ (0{\cdot}01\ \text{norm.})\ \|\ SO_4Hg_2\ (0{\cdot}1\ \text{norm.})/Hg,$$
$$Hg/SO_4Hg_2\ (0{\cdot}1\ \text{norm.})\ \|\ SO_4Hg_2\ (\text{norm.})/Hg,$$
$$Ag/NO_3Ag\ (0{\cdot}01\ \text{norm.})\ \|\ NO_3Ag\ (0{\cdot}1\ \text{norm.})/Ag$$

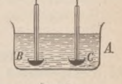
имѣютъ одинакія электродвижущія силы.

Замѣтимъ, что для послѣдняго элемента Ле-Бланъ нашелъ изъ опыта $E = 0{\cdot}055$, а по формулѣ (9) слѣдуетъ $E = 0{\cdot}054$ volt. Отрицательное значеніе электродвижущей силы, опредѣляемой форм. (9), показываетъ, что внутри концентраціоннаго элемента токъ идетъ отъ слабаго раствора къ крѣпкому, такъ что электродъ послѣдняго становится катодомъ, а электродъ перваго—анодомъ.

2) Если $\mathrm{Log}(P_1/P_2) = 0$ или $P_1 = P_2$, то (7а) обращается въ

$$E = \frac{2.10^{-4}}{k}\,T\,\mathrm{Log}\left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2}\right). \tag{10}$$

Такой элементъ состоитъ изъ одного раствора (имѣющаго всюду одно осмотическое давленіе) и двухъ металловъ одной природы, но различной упругости растворенія; такой элементъ называется *элементомъ съ одною жидкостью.* Осуществить его можно слѣдующимъ образомъ: на дно стакана A (фиг. 3) съ растворомъ цинковаго купороса ставятъ двѣ чашечки, B и C, наполненныя цинковыми амальгамами различной концентраціи; такъ какъ амальгаму можно разсматривать, какъ растворъ металла въ ртути, то ея упругость растворенія можно считать пропорціональною ея концентраціи. Если въ чашечки B и C опустить платиновыя проволоки, запаянныя въ стеклянныя трубочки, и соединить ихъ чрезъ гальванометръ, то пойдетъ токъ, и стрѣлка гальванометра отклонится.



Фиг. 3.

Изъ форм. (10) видно, что электродвижущая сила элемента съ одною жидкостью не зависитъ отъ природы этой жидкости; она зависитъ исключительно отъ металловъ; въ виду этого такой элементъ позволяетъ провѣрить въ отдѣльности ту часть форм. (7), которая опредѣляетъ зависимость E отъ упругостей растворенія металловъ.

Вотъ нѣкоторыя числа, приводимыя Ле-Бланомъ; въ первомъ столбцѣ стоитъ абсолютная температура T, во второмъ и третьемъ концентраціи амальгамъ, въ четвертомъ и пятомъ соотвѣтствующія электродвижущія силы, измѣренныя и вычисленныя.

1) Цинковая амальгама въ растворѣ цинковаго купороса

T	P_1	P_2	E (изм.)	E (выч.)
284·6	0·003366	0·00011305	0·0419	0·0416
285·4	0·002280	0·0000608	0·0474	0·0445
333	„	„	0·0520	0·0519

2) Мѣдная амальгама въ растворѣ мѣднаго купороса

T	P_1	P_2	E (изм.)	E (выч.)
290·3	0·0003874	0·00009587	0·0181	0·0176
293·8	0·0004472	0·00016645	0·0124	0·0125

Электрическія явленія.

Г. Лоренца[1].

Изученіе электрическихъ явленій лучше всего даетъ понятіе о современной физикѣ и о тѣхъ усиліяхъ, которыя прилагаютъ ученые для развитія своей науки. Имѣя въ виду ознакомить васъ съ этими явленіями, я, конечно, сознавалъ трудность задачи, обусловливаемую ея обширностью. Къ счастью тутъ можно руководствоваться теоріею, которая въ своихъ главныхъ чертахъ доступна каждому и которая позволяетъ въ краткомъ изложеніи представить очень многое.

Извѣстно, что существуетъ два электрическихъ состоянія, которыя мы различаемъ наименованіями положительнаго и отрицательнаго. Вы знаете, конечно, что два куска стекла, натертые шелковою матеріею, отталкиваются одинъ отъ другого; а такое стекло притягивается сургучомъ, которое натерто мѣхомъ. Двѣ палочки сургуча, натертыя одною и тою же матеріею, взаимно отталкиваются. Все это мы можемъ очень просто формулировать, называя натертое стекло положительно наэлектризованнымъ, а натертый сургучъ—отрицательно наэлектризованнымъ; тогда мы находимъ правило, что два одноименно наэлектризованныхъ тѣла взаимно отталкиваются, а два разноименно или противоположно наэлектризованныхъ тѣла взаимно притягиваются. Это правило годится не только для стекла и сургуча; многія другія тѣла можно привести въ электрическое состояніе, и оказывается, что всѣ они представляютъ то же явленіе, какое представляютъ натертые стекло и сургучъ. Третьяго случая никогда не наблюдается. Если мы условимся называть положительно заряженнымъ всякое тѣло, обладающее свойствами натертаго

---

[1]) Переводъ одной главы изъ книги: Sichtbare und unsichtbare Bewegungen. Vorträge gehalten von *H. A. Lorentz*; aus dem holländischen übersetzt von G. Siebert (1902).

стекла, и отрицательно заряженнымъ всякое тѣло, дѣйствующее, какъ натертый сургучъ, то наше правило совершенно общее.

Особенно замѣчательно, что при треніи двухъ тѣлъ оба электризуются, получая равные и противоположные заряды. Это ведетъ къ предположенію, что положительный и отрицательный заряды такъ или иначе существуютъ въ каждомъ тѣлѣ и до его электризаціи, но взаимно нейтрализуются и только треніемъ раздѣляются. Такимъ образомъ мы приходимъ къ теоріи, которая послужитъ намъ руководящею нитью.

Мы не будемъ дѣлать никакихъ предположеній о сущности электрическаго заряда, но примемъ, что въ каждомъ тѣлѣ существуютъ чрезвычайно мелкія частички, одна половина коихъ обладаетъ неизмѣннымъ положительнымъ зарядомъ, а другая половина—такимъ же отрицательнымъ зарядомъ. Эти частички самыя малыя, которыя только встрѣчаются въ природѣ; онѣ даже гораздо меньше атомовъ; эти частички, заряженныя положительно и отрицательно, называются *электронами*; они всюду распространены и ни одна частица вѣсомой матеріи несвободна отъ нихъ: каждое тѣло заключаетъ въ себѣ безчисленное множество электроновъ; въ каждомъ ненаэлектризованномъ тѣлѣ имѣется столько же положительныхъ, сколько и отрицательныхъ электроновъ.

Вооружаясь этими представленіями, обратимся къ нѣкоторымъ опытамъ. Для этого будемъ пользоваться простымъ приборомъ—электроскопомъ съ золотыми листочками.

Начнемъ съ того, что потремъ стеклянную палочку о металлическій шарикъ электроскопа; листочки его расходятся; зарядъ, который при этомъ развивается въ электроскопѣ, отрицательный. Слѣд. металлическій стержень получилъ избытокъ отрицательныхъ электроновъ или потому, что они перешли изъ стекла въ металлъ, или потому, что положительные электроны перешли изъ металла въ стекло; можетъ быть, и то и другое имѣетъ мѣсто одновременно; тутъ опытъ ничего не можетъ рѣшить. Опытъ показываетъ только, что зарядъ, возбужденный въ верхней части стержня, распространяется по всему стержню и по золотымъ листочкамъ. Для этого надо лишь два условія: во 1-хъ, чтобы электроны свободно перемѣщались внутри металла, и во 2-хъ, чтобы существовала сила, заставляющая ихъ изъ верхней части стержня перемѣщаться въ нижнюю. Металлы мы

называемъ проводниками электричества; что же касается силы, то ее слѣдуетъ искать во взаимномъ отталкиваніи отрицательныхъ электроновъ, которые сначала скопляются въ верхней части стержня. Понятно, что они стремятся по возможности удалиться одинъ отъ другого, такъ что одна часть ихъ остается вверху стержня, другая переходитъ на золотые листочки и разводитъ послѣдніе.

Здѣсь электрическій зарядъ проводится лишь на небольшое разстояніе; но можно оперировать и на очень далекое разстояніе. При помощи проволоки соединимъ шарикъ электроскопа съ металлическимъ тѣломъ, изолированнымъ стеклянною ножкою; если затѣмъ это тѣло натирать стекломъ или кошачьимъ мѣхомъ, то листочки электроскопа также расходятся, какъ и прежде. Будь больше мѣста, мы могли бы взять проволоку гораздо длиннѣе: зарядъ всегда распространяется такъ далеко, какъ простирается проводникъ.

Зарядъ можетъ очень далеко распространяться изъ электроскопа, если его соединить проводникомъ съ землею; такимъ проводникомъ можетъ служить мое тѣло: мнѣ стоитъ лишь прикоснуться пальцемъ къ шарику электроскопа, и его зарядъ мгновенно исчезаетъ. Избытокъ отрицательныхъ электроновъ разсѣялся теперь по землѣ, и то, что могло остаться въ золотыхъ листочкахъ, совершенно незамѣтно. Итакъ электричество имѣетъ наклонность покинуть тотъ предметъ, въ которомъ находится; тѣмъ не менѣе электроскопъ получаетъ и сохраняетъ зарядъ; слѣд. стеклянный сосудъ электроскопа не проводитъ электричества. Это мы объяснимъ себѣ тѣмъ, что хотя электроны и заключаются въ стеклѣ, но не могутъ въ немъ свободно перемѣщаться. Этимъ непроводники, какъ стекло, отличаются отъ проводниковъ—металловъ. Теперь становится понятнымъ почему можно наэлектризовать стеклянную трубку и въ то же время держать ее въ рукѣ: положительные электроны, которые—вслѣдствіе тренія—развиваются въ нѣкоторомъ разстояніи отъ руки, хотя и отталкиваются взаимно, но не могутъ перейти въ землю, такъ какъ стекло препятствуетъ имъ достигнуть руки.

Зарядъ стекла мы обнаружимъ при помощи электроскопа, для чего натертымъ стекломъ прикоснемся къ шарику электроскопа; при этомъ можно надѣяться, что электроны, находящіеся на стеклѣ въ непосредственной близости отъ точки прикосновенія, перейдутъ въ золотые листочки. Попытавши сдѣлать та-

кой опытъ, мы не мало удивимся, когда увидимъ, что дѣйствительность превзойдетъ наши ожиданія: золотые листочки расходятся раньше, чѣмъ мы успѣемъ коснуться стержня электроскопа; листочки сходятся, когда мы удаляемъ стеклянный стержень; если натертое стекло попеременно приближать къ электроскопу и удалять отъ него, золотые листочки то расходятся, то сходятся. Это замѣчательное явленіе легко объяснить изъ нашей теоріи. Металлическія части электроскопа въ обыкновенномъ состояніи содержатъ въ себѣ оба рода электроновъ, которые свободно перемѣщаются; наэлектризованное стекло, помѣщенное надъ шарикомъ электроскопа, должно вызвать раздѣленіе этихъ электроновъ; положительные электроны стекла должны притягивать отрицательные электроны въ шарикъ, а положительные отталкивать въ золотые листочки, которые вслѣдствіе этого и расходятся.

Какъ скоро металлическій стержень такимъ образомъ заряжается, на его верхнюю часть дѣйствуетъ сила, направленная къ натертому стеклу, а на нижнюю—сила, направленная отъ стекла. Это объясняетъ намъ причину притяженія ненаэлектризованныхъ тѣлъ наэлектризованными.

Еще разсудимъ что̀ произойдетъ, если мы сначала зарядимъ электроскопъ, а затѣмъ помѣстимъ надъ его шарикомъ наэлектризованное тѣло. Примемъ, что приборъ заряженъ отрицательно. Тогда положительно-заряженное тѣло притягиваетъ отрицательные электроны въ шарикъ: зарядъ листочковъ, а потому и ихъ расхожденіе уменьшается; отрицательно-заряженное тѣло производитъ противоположное дѣйствіе. И то, и другое подтверждается опытомъ.

Я бы могъ представить вамъ много другихъ замѣчательныхъ явленій, но ограничусь тѣмъ, что приведу вамъ нѣсколько примѣровъ того, какъ возбуждается электрическое состояніе. Я ударяю кошачьимъ мѣхомъ по листу станіоля или по деревянной доскѣ, птичьимъ крыломъ я обтираю каменную посуду или натираю ее гутаперчевымъ листомъ, и всякій разъ получаю электрическій зарядъ, который можно обнаружить при помощи электроскопа. Если бы взять болѣе чувствительный приборъ, то еще лучше можно было доказать, что два тѣла нельзя потереть одно о другое безъ того, чтобы въ одномъ изъ нихъ не получился избытокъ положительныхъ электроновъ, а въ другомъ—избытокъ отрицательныхъ.

Теперь обратимъ наше вниманіе на электроны, находящіеся въ движеніи. Мы уже встрѣчались съ такими электронами. Когда мы сообщали зарядъ отдаленному проводнику, соединенному проволокою съ электроскопомъ, то послѣдній также получалъ часть этого заряда. Если мы условимся зарядъ объяснять присутствіемъ электроновъ, то въ данномъ случаѣ нужно допустить, что въ металлической проволокѣ происходитъ перемѣщеніе электроновъ. Это и есть то явленіе, которое называется электрическимъ токомъ. Въ упомянутомъ случаѣ токъ слабъ и продолжается лишь короткое время; но имѣются средства съ одной стороны усилить токъ, а съ другой—сдѣлать его продолжительнымъ, не измѣняющимся въ теченіе долгаго времени. Такіе токи можно уподобить непрерывному движенію воды въ водопроводныхъ трубахъ или еще лучше прохожденію воды по стержню, сдѣланному изъ пористаго вещества.

Подобно тому, какъ здѣсь жидкость проходитъ по внутреннимъ пустотамъ пористаго матеріала, такъ и въ случаѣ тока мы должны представить себѣ, что электроны движутся между частицами и даже чрезъ самыя частицы мѣдной проволоки. Однако электрическій токъ сложнѣе движенія жидкости, ибо здѣсь мы имѣемъ дѣло съ двумя родами электроновъ. Представимъ себѣ опять отдаленный проводникъ, соединенный проволокою съ электроскопомъ; можно себѣ представлять, что когда проводнику сообщается положительный зарядъ, то положительные электроны, будучи отталкиваемы положительнымъ зарядомъ проводника, перемѣщаются по соединительной проволокѣ въ электроскопъ; но тотъ же зарядъ притягиваетъ къ себѣ отрицательные электроны изъ электроскопа; вслѣдствіе этого отрицательные электроны приходятъ въ движеніе на встрѣчу положительнымъ электронамъ. Впрочемъ и движеніе однихъ отрицательныхъ электроновъ вполнѣ достаточно для образованія заряда электроскопа, ибо если отрицательные электроны оставляютъ электроскопъ, то въ немъ получается избытокъ положительныхъ электроновъ.

Въ дѣйствительности, вѣроятно, и тѣ и другіе электроны движутся въ противоположныя стороны, и мы будемъ себѣ представлять, что электрическій токъ вообще состоитъ изъ такого двойного теченія электроновъ; если электроны достаточно малы, то при своихъ движеніяхъ они другъ другу не мѣшаютъ. Въ какой мѣрѣ электроны того и другого рода принимаютъ участіе въ этихъ движеніяхъ—это вопросъ, котораго мы не будемъ здѣсь

обсуждать. Но токъ въ проволокѣ мы всегда можемъ характеризовать тѣмъ, что укажемъ направленіе, по которому перемѣщаются положительные электроны; это направленіе мы обыкновенно называемъ *направленіемъ электрическаго тока.* Что касается до величины тока, то она тѣмъ больше, чѣмъ больше число положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ, которые въ теченіе одной секунды проходятъ въ ту и другую сторону чрезъ сѣченіе проводника [1]).

---

[1]) Изъ этихъ представленій вытекаетъ законъ Ома. Примемъ, что во всякомъ проводникѣ очень скоро установляется стаціонарное состояніе, и назовемъ токомъ то количество электричества, которое въ теченіе секунды проносится чрезъ поперечное сѣченіе проводника положительными и отрицательными электронами. Пусть проводникъ однороденъ, прямолинеенъ и всюду одной толщины; пусть въ каждой единицѣ объема заключается n положительныхъ и n отрицательныхъ электроновъ, ε—зарядъ каждаго электрона. При своемъ движеніи внутри твердаго проводника электронъ встрѣчаетъ большое сопротивленіе и потому въ каждой точкѣ своего пути электронъ движется подъ дѣйствіемъ приложенной къ нему силы; съ устраненіемъ этой силы электронъ тотчасъ или очень скоро останавливается; силы, движущія электричество, всюду направлены по проводнику. Наконецъ примемъ, что количество электричества, проходящее въ секунду чрезъ сѣченіе проводника, пропорціонально дѣйствующей на него здѣсь силѣ. Называя чрезъ X движущую силу и чрезъ j плотность тока, т. е. количество электричества, проходящее въ секунду чрезъ □ cm. поперечнаго сѣченія проводника, можемъ написать

$$j = \lambda X, \tag{1}$$

гдѣ λ постоянная, означающая плотность тока при $X=1$ и называемая *удѣльною проводимостью* даннаго проводника; она имѣетъ вполнѣ опредѣленное физическое значеніе; примемъ, что при $X=1$ электроны имѣютъ скорости v_p и v_n; тогда въ секунду чрезъ □ cm. поперечнаго сѣченія проходятъ іоны въ числѣ $n(v_p+v_n)$; они проносятъ съ собою $\varepsilon n(v_p+v_n)$ электричества; слѣд., полагая въ пред. формулѣ $X=1$ и $j=$ $=\varepsilon n(v_p+v_n)$, мы имѣемъ

$$\lambda = \varepsilon n(v_p+v_n),$$

т. е. удѣльная проводимость равна произведенію изъ заряда электрона, числа положительныхъ электроновъ въ куб. центиметрѣ и суммы скоростей положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ.

Теперь представимъ себѣ проводникъ съ сѣченіемъ въ q □ cm.; если плотность тока въ немъ j, то самый токъ $i=jq$; слѣд. по (1)

$$i = q\lambda X,$$

откуда

$$X = \frac{i}{q\lambda}.$$

Прибавлю одно замѣчаніе. Представимъ себѣ наполненную водою трубку, съ одного конца которой приливаемъ еще нѣсколько воды; тогда изъ другого конца этой трубки тотчасъ же выливается вода; конечно, это не та самая вода, которая была прилита, но вода, бывшая вблизи открытаго конца трубки. Подобно этому, когда электрическій зарядъ изъ отдаленнаго проводника переходитъ по проволокѣ въ электроскопъ, то нѣтъ надобности предполагать, чтобы электроскопъ получалъ электроны изъ проводника: электроскопъ можетъ заряжаться тѣми электронами, которые были въ ближайшей къ нему части проволоки и были оттолкнуты заряженнымъ проводникомъ. Такимъ образомъ вообще въ то время, какъ отдѣльные электроны перемѣщаются лишь на очень малыя разстоянія, *состояніе движенія* распространяется на значительное разстояніе, передаваясь все болѣе и болѣе отдаленнымъ электронамъ. Быстрота электрическаго телеграфированія напр. обусловливается тѣмъ, что это движеніе въ короткое время распространяется на большое разстояніе, но она отнюдь не доказываетъ, чтобы сами электроны обладали большими скоростями. Правдоподобнѣе принять, что они движутся медленно, ползая, такъ сказать, между частицами металла.

Работа, совершаемая силою X на пути l, будетъ

$$Xl = \frac{i}{q\lambda/l};$$

если потенціалы на концахъ отрѣзка l проводника назовемъ V_1 и V_2, то $Xl = V_1 - V_2$; съ другой стороны $l/\lambda q = R$ есть не что иное, какъ сопротивленіе разсматриваемаго отрѣзка проводника; поэтому изъ предыдущей формулы можно написать

$$i = \frac{V_1 - V_2}{R};$$

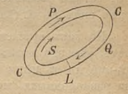
но это есть формула Ома.

Предыдущія разсужденія примѣнимы и къ жидкому проводнику; стоитъ лишь электронъ замѣнить іономъ. Изъ этого видно, что законъ Ома примѣнимъ только къ твердымъ и жидкимъ проводникамъ, но онъ непримѣнимъ къ газамъ; дѣйствительно, мы предполагаемъ, что электроны (и іоны) движутся только подъ дѣйствіемъ приложенныхъ къ нимъ силъ и независимо отъ силъ, дѣйствовавшихъ на нихъ раньше; между тѣмъ частицы газа не встрѣчаютъ сопротивленія на своемъ пути и движутся свободно подъ вліяніемъ начальныхъ толчковъ; такъ напр. въ катодныхъ лучахъ отрицательные іоны получаютъ толчекъ у поверхности катода и затѣмъ движутся съ постоянною скоростью. Понятно, что электрическій токъ въ газѣ долженъ подчиняться болѣе сложному закону, чѣмъ законъ Ома. *Прим. ред.*

Наконецъ замѣтимъ, что—судя по всему, что̀ извѣстно—число положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ, которые принимаютъ участіе въ токѣ внутри проволоки, несравненно больше числа тѣхъ или другихъ электроновъ, которые своимъ избыткомъ обусловливаютъ зарядъ проводника такихъ же размѣровъ, какъ проволока. Въ связи съ этимъ мы и предполагаемъ, что положительные и отрицательные электроны лишь въ незначительномъ числѣ могутъ отдѣляться другъ отъ друга.

Если токъ достаточно великъ—больше, чѣмъ въ нашихъ опытахъ съ электроскопомъ, то̀ существованіе его можно обнаружить при помощи гальванометра. Пользуясь послѣднимъ, ознакомимся съ нѣкоторыми способами возникновенія тока.

Для приведенія въ движеніе электроновъ нѣтъ надобности брать заряженное тѣло; мы можемъ этого достичь иными весьма различными способами. Пусть CC' (фиг. 1) проводникъ въ формѣ замкнутаго кольца или цѣпи. Представимъ себѣ, что положительные электроны части P цѣпи приводятся какимъ-нибудь способомъ въ движеніе по направленію стрѣлки; иначе говоря, заставимъ на нихъ дѣйствовать (въ строгомъ смыслѣ этого слова) *электродвижущую силу*; тогда эти электроны начнутъ двигаться, а затѣмъ придутъ въ движеніе и электроны другихъ частей цѣпи.



Фиг. 1.

Какимъ образомъ послѣднее происходитъ, мы не будемъ разбирать; намъ достаточно знать, что когда дѣйствуютъ электродвижущія силы, теченіе электроновъ устанавливается во всей цѣпи; при этомъ положительные электроны всюду и непрерывно текутъ по направленію стрѣлки S. Вообще, когда положительные электроны движутся въ одну сторону, отрицательные перемѣщаются имъ навстрѣчу, и такимъ образомъ возникаетъ двойное теченіе, о которомъ рѣчь была выше.

Конечно, предыдущій рисунокъ представляетъ лишь схему. Замкнутый проводникъ можетъ состоять изъ проволоки, проведенной въ отдаленное мѣсто и возвращенной оттуда назадъ, какъ это бываетъ съ проволоками электрическихъ звонковъ, протянутыхъ по всему дому; при этомъ часть проволоки можетъ быть свернута въ спираль, такъ что токъ послѣдовательно проходитъ чрезъ всѣ обороты. Проволоку, покрытую непропускающимъ тока веществомъ, можно свернуть въ катушку, въ которой

обороты прилегаютъ непосредственно одинъ къ другому; такая проволочная катушка имѣется въ гальванометрѣ; магнитъ, приводимый въ движеніе токомъ, помѣщается внутри подобной катушки.

Тамъ и здѣсь цѣпь можетъ состоять изъ двухъ проволокъ различнаго матеріала: токъ можно пропустить чрезъ водный растворъ. Съ этою цѣлью двѣ металлическія пластинки опускаются въ жидкость, а выступающіе концы ихъ соединяются съ остальною цѣпью. Если соединительная проволока не чрезмѣрно длинна, то въ незначительную долю секунды токъ распространяется по всей цѣпи. Можно сказать, что всякая электродвижущая сила тотчасъ же вызываетъ движеніе электроновъ во всей замкнутой цѣпи. Если подобныя силы развиваются въ различныхъ мѣстахъ цѣпи, то дѣйствія ихъ складываются, взаимно усиливаясь или ослабляясь, смотря по ихъ направленію. Если, какъ на фиг. 1, дѣйствуютъ двѣ силы, представленныя стрѣлками P и Q, то онѣ вызываетъ токъ болѣе сильный, чѣмъ каждая изъ этихъ силъ въ отдѣльности.

Но какъ вызвать электродвижущую силу? Опытъ показываетъ, что это можно сдѣлать различными средствами. Можно гдѣ-нибудь въ цѣпи (напр. въ L, фиг. 1) привести въ контактъ два разнородныхъ металла и нагрѣть мѣсто ихъ соприкосновенія. Если мѣсто соединенія мѣдной и желѣзной проволокъ, концы которыхъ соединены съ гальванометромъ, держать надъ пламенемъ горѣлки, то стрѣлка гальванометра тотчасъ же отклонится. Достаточно даже того нагрѣванія, которое испытываютъ концы проволокъ, если ихъ взять между пальцами. Слѣд. тутъ токъ вызывается тѣмъ движеніемъ, изъ котораго, какъ извѣстно, состоитъ теплота. Какъ будто электроны принимаютъ участіе въ тепловомъ движеніи и проникаютъ чрезъ поверхность раздѣла обоихъ металловъ, при чемъ—вслѣдствіе какихъ-то причинъ—положительные электроны преимущественно движутся въ направленіи отъ мѣди къ желѣзу.

Совершенно иначе возникаетъ токъ, если кусокъ мѣди и кусокъ цинка опущены въ сосудъ съ слабымъ растворомъ сѣрной кислоты. Въ этомъ случаѣ токъ возбуждается химическими процессами. Можно представить себѣ, что цинкъ притягиваетъ къ себѣ изъ жидкости извѣстные атомы или группы атомовъ, и что съ этими частицами связаны электроны опредѣленнаго зна-

ка; такимъ образомъ вмѣстѣ съ притягиваемыми атомами приходятъ въ движеніе и электроны.

Наши металлы въ жидкости образуетъ простѣйшій *гальваническій элементъ.* Изобрѣтеніе этого снаряда, сдѣланное около ста лѣтъ тому назадъ Александромъ Вольтою, открыло новый путь къ изслѣдованію явленій электричества.

Не менѣе важно было и открытіе, сдѣланное Эрстедомъ въ 1820 г. Онъ замѣтилъ, что проволока съ токомъ развиваетъ особаго рода силы, дѣйствующія на полюсы помѣщеннаго вблизи магнита. Это именно тѣ силы, которыми мы пользуемся, чтобы при помощи гальванометра обнаружить существованіе тока. Этотъ опытъ Эрстеда былъ исходною точкою для завоеванія цѣлаго міра новыхъ явленій.

Какъ взаимодѣйствуютъ проволоки, въ которыхъ идутъ токи, какъ можно образовать сильный магнитъ при помощи электрическаго тока, какъ движеніемъ проводника около тока или около магнита можно вызвать въ немъ токъ, все это было не только наблюдаемо, но и подвергнуто точнымъ измѣреніямъ. Были найдены количественныя соотношенія между всѣми этими явленіями, были установлены опредѣленныя единицы и все было подчинено господству мѣры и числа. И въ то время, какъ собиралось безконечное множество свѣдѣній, плодомъ которыхъ явилась процвѣтающая въ наше время электротехника, теоретики соперничали въ стремленіи найти связь между явленіями и проникнуть въ ихъ сущность.

Мы выберемъ одно только явленіе и разсмотримъ его подробнѣе. Здѣсь я имѣю толстую мѣдную проволоку, согнутую въ прямоугольникъ, двѣ стороны котораго вертикальны; чрезъ этотъ прямоугольникъ, удобоподвижный около вертикальной оси, пропустимъ токъ; къ одной изъ вертикальныхъ сторонъ прямоугольника поднесемъ неподвижную вертикальную проволоку тоже съ токомъ. Вы видите какъ эта проволока притягиваетъ къ себѣ подвижную, и какъ притяженіе превращается въ отталкиваніе, когда неподвижную проволоку перевернуть. Если мы прослѣдимъ направленія токовъ въ нашемъ опытѣ, то найдемъ, что притяженіе имѣетъ мѣсто, когда оба тока направлены одинаково, и отталкиваніе, когда токи направлены въ противоположныя стороны.

Естественно возникаетъ вопросъ, не имѣемъ-ли мы здѣсь дѣло со взаимодѣйствіями электрическихъ зарядовъ на прово-

локахъ. На поверхностяхъ проволокъ дѣйствительно имѣется нѣкоторый избытокъ положительныхъ или отрицательныхъ электроновъ, но онъ такъ незначителенъ, что мы можемъ отвлечься отъ него, и потому должны обратить вниманіе на положительные и отрицательные электроны, которые въ равныхъ числахъ имѣются внутри проволокъ. Если бы всѣ эти электроны были въ покоѣ или участвовали въ молекулярныхъ движеніяхъ, направленныхъ во всѣ стороны, то не было бы ни притяженія, ни отталкиванія: ибо притяженіе положительныхъ электроновъ въ подвижной проволокѣ отрицательными электронами неподвижнаго проводника уничтожалось бы отталкиваніемъ, обусловливаемымъ положительными электронами послѣдняго; обѣ силы, дѣйствующія на отрицательные электроны въ нашемъ удобоподвижномъ прямоугольникѣ, были бы равны и противоположны. Явленіе, которое мы только-что наблюдали, доказываетъ намъ, что различныя силы не уничтожаются взаимно, когда электроны находятся въ движеніи. Итакъ силы взаимодѣйствія между движущимися электронами должны быть иныя, чѣмъ между неподвижными; здѣсь имѣетъ значеніе движеніе какъ въ одномъ, такъ и въ другомъ проводникѣ, ибо притяженія и отталкиванія наблюдаются только тогда, когда и въ томъ и въ другомъ проводникѣ идутъ токи.

Держась предположенія, что всѣ электрическія дѣйствія передаются эѳиромъ, мы приходимъ къ слѣдующему представленію. Каждый электронъ нарушаетъ равновѣсіе окружающаго эѳира (тѣмъ слабѣе, чѣмъ дальше мы находимся отъ самого электрона); способъ этого нарушенія равновѣсія различенъ, смотря потому, движется-ли электронъ или находится въ покоѣ. Второй электронъ, находящійся въ нѣкоторомъ разстояніи отъ перваго, испытываетъ силу опредѣленной величины и направленія, зависящую отъ состоянія непосредственно окружающаго эѳира, и потому косвенно отъ заряда и движенія перваго электрона. Въ какой мѣрѣ и какимъ образомъ электронъ подвергается вліянію окружающаго эѳира, это опредѣляется его собственнымъ движеніемъ.

Все это удалось выразить формулами и такимъ образомъ всѣ явленія той области, которою мы теперь занимаемся, можно вычислить напередъ. Прежде всего теорія даетъ величину силы взаимодѣйствія двухъ токовъ, которое мы сейчасъ наблюдали. Затѣмъ она позволяетъ опредѣлить дѣйствіе тока, идущаго въ

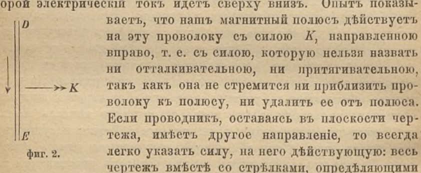
проводникѣ всякой формы. Такъ она показываетъ — и это подтверждается наблюденіемъ, что проволока, свернутая въ цилиндрическую спираль и протекаемая токомъ, производитъ и испытываетъ такое же дѣйствіе, какъ магнитъ. Концы двухъ такихъ спиралей съ токами притягиваются и отталкиваются, какъ полюсы двухъ магнитовъ, а если одна спираль удобоподвижна въ горизонтальной плоскости, то она, какъ магнитная стрѣлка, располагается своею длиною съ сѣвера на югъ. И на полюсы магнита дѣйствуетъ токъ въ спирали такимъ же образомъ, какъ бы дѣйствовалъ другой магнитъ. Спираль или катушку, обороты которой не составляютъ замкнутыхъ контуровъ, можно замѣнить нѣкоторымъ числомъ круглыхъ замкнутыхъ контуровъ, нанизанныхъ на цилиндръ; если въ каждомъ изъ этихъ контуровъ движутся электроны, то полное ихъ дѣйствіе опять подобно дѣйствію магнита.

Послѣ того, какъ было замѣчено, что проводникъ съ токомъ выводитъ магнитную стрѣлку изъ ея положенія равновѣсія и что желѣзо обращается въ магнитъ, какъ скоро въ окружающихъ его оборотахъ проволоки идетъ токъ, естественно явилась мысль, что между электрическими и магнитными дѣйствіями существуетъ тѣсная связь и что оба явленія вызываются одною причиною. Только-что упомянутая эквивалентность протекаемой токомъ спирали и магнита подкрѣпила эту мысль. Амперъ высказалъ гипотезу, что въ магнитѣ существуетъ бо́льшое число замкнутыхъ электрическихъ токовъ; онъ принялъ именно, что каждая частица намагниченнаго желѣза обтекается такимъ токомъ; каждый изъ этихъ токовъ можно уподобить току въ одномъ оборотѣ спирали. Теперь становится понятнымъ, почему магнитъ и соленоидъ оказываютъ и испытываютъ одинакія дѣйствія: и тотъ и другой состоятъ изъ системы замкнутыхъ электрическихъ токовъ.

Въ переводѣ на языкъ теоріи электроновъ, гипотеза Ампера состоитъ въ томъ, что вокругъ каждой частицы магнита вращается электронъ опредѣленнаго знака; пока внѣшнія вліянія не измѣняютъ состоянія магнита, это движеніе тоже не измѣняется, такъ какъ тамъ нѣтъ никакого сопротивленія, которое бы могло уменьшить скорость электрона. Какъ бы впослѣдствіи ни измѣнилось это представленіе, несомнѣнно, что электрическія и магнитныя явленія всегда придется разсматривать съ одной общей точки зрѣнія и что когда мы говоримъ о дѣйствіи магнита, то мысленно мы можемъ его замѣнять системою замкнутыхъ токовъ.

Въ послѣдующемъ изложеніи мы будемъ заниматься именно дѣйствіемъ магнита на движущіеся электроны. Для большей опредѣленности примемъ, что движенія совершаются въ плоскости чертежа и что сѣверный магнитный полюсъ лежитъ передъ этою плоскостью, т. е. со стороны наблюдателя. Впрочемъ всѣ явленія останутся безъ измѣненія, если вмѣсто сѣвернаго полюса передъ плоскостью чертежа возьмемъ южный полюсъ сзади нея или если существуютъ одновременно оба эти полюса и электроны движутся въ пространствѣ между ними.

Сначала пусть DE (фиг. 2) есть мѣдная проволока, въ которой электрическій токъ идетъ сверху внизъ. Опытъ показываетъ, что нашъ магнитный полюсъ дѣйствуетъ на эту проволоку съ силою K, направленною вправо, т. е. съ силою, которую нельзя назвать ни отталкивательною, ни притягивательною, такъ какъ она не стремится ни приблизить проволоку къ полюсу, ни удалить ее отъ полюса. Если проводникъ, оставаясь въ плоскости чертежа, имѣетъ другое направленіе, то всегда легко указать силу, на него дѣйствующую: весь чертежъ вмѣстѣ со стрѣлками, опредѣляющими направленія тока и силы, можно какъ угодно вертѣть въ плоскости чертежа; при чемъ K предоставляетъ всегда силу, дѣйствующую на токъ. Если чертежъ повернуть на 180°, токъ будетъ итти вверхъ, а сила K будетъ направлена влѣво. Отсюда видно, что сила, которую испытываетъ проводникъ съ токомъ, помѣщающійся въ магнитномъ полѣ—такъ называютъ пространство вблизи магнитнаго полюса, принимаетъ прямо противоположное направленіе, когда токъ обращается. Съ помощью удобоподвижнаго тока, которымъ мы уже пользовались, мы легко можемъ наблюдать и то, и другое.



фиг. 2.

Теорія, которою мы руководствуемся, разсматриваетъ силу K, какъ дѣйствіе магнитнаго поля на электроны въ проволокѣ, которое эти послѣдніе, не имѣя возможности оставить проволоки, переносятъ на самую проволоку. Токъ можно разсматривать какъ движеніе положительныхъ электроновъ сверху внизъ, а потому слѣдуетъ принять, что и на нихъ дѣйствуетъ сила, направленная по стрѣлкѣ K. Сила, дѣйствующая при другомъ направленіи движенія электроновъ въ нашей проволокѣ, получается вращеніемъ чертежа въ своей плоскости. Если бы поло-

жительные электроны двигались вверхъ, то они отклонялись бы влѣво въ нашемъ магнитномъ полѣ. Но мы можемъ токъ въ *DE* разсматривать и какъ движеніе отрицательныхъ электроновъ отъ *E* къ *D*; слѣд. и на нихъ должна дѣйствовать та же сила *K*. Другіе случаи опять можно найти вращеніемъ фигуры. При одномъ и томъ же направленіи движенія положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ магнитное поле дѣйствуетъ на нихъ съ прямо противоположными силами.

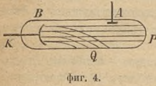
Пусть электронъ движется совершенно свободно и притомъ не въ металлѣ, а въ эѳирѣ. Если вблизи нѣтъ магнитнаго полюса, то электронъ описываетъ прямую линію *AB* (фиг. 3); но когда магнитное поле дѣйствуетъ съ силою перпендикулярною къ направленію движенія электрона, то путь послѣдняго искривляется. На чертежѣ 3 показаны эти искривленія пути отрицательнаго электрона; если такой электронъ движется сверху внизъ, такъ что при отсутствіи магнитнаго полюса онъ перемѣщался бы отъ *A* къ *B*, то подъ вліяніемъ поля онъ описываетъ дугу *AC*. Тутъ мы имѣемъ случай, когда сила всюду направлена перпендикулярно къ направленію движенія, вслѣдствіе чего путь искривляется, а скорость движенія остается безъ измѣненія. Если внѣ поля нашъ электронъ движется отъ *B* къ *A*, то въ магнитномъ полѣ онъ описываетъ путь *BD*.

Фиг. 3.

Этотъ результатъ нашихъ изслѣдованій мы примѣнимъ къ одному явленію, которымъ физики много занимались въ послѣднее время. Если чрезъ гейслеровскую трубку пропустить электрическій разрядъ, то въ ней происходятъ явленія, которыя чрезвычайно загадочны; несмотря на всѣ усилія ученыхъ, эти явленія до сихъ поръ представляются намъ настоящимъ хаосомъ. Впрочемъ одно изъ этихъ явленій чрезвычайно просто.

Для наблюденія этого явленія служитъ трубка *B* (фиг. 4) съ достаточно разряженнымъ воздухомъ, внутри которой помѣщены двѣ металлическія пластинки *A* и *K*, прикрѣпленныя къ впаяннымъ въ трубку платиновымъ проволокамъ. Пропустимъ чрезъ такую трубку электрическій токъ отъ индуктора, такъ чтобы онъ входилъ чрезъ *A* и выходилъ чрезъ *K* изъ газа; тогда то мѣсто *P* трубки, которое лежитъ противъ пластинки *K*,

испускаетъ своеобразный зеленый свѣтъ. Изслѣдованія не оставляютъ никакого сомнѣнія въ томъ, что мы здѣсь имѣемъ дѣло съ свободными отрицательными электронами, которые вылетаютъ изъ пластинки K; когда они попадаютъ на стекло въ P, то своею бомбардировкою заставляютъ его здѣсь свѣтиться. Если такой взглядъ на описываемое явленіе вѣренъ, то магнитное поле, которое представляемъ себѣ направленнымъ по прежнему, должно измѣнить явленіе, хотя



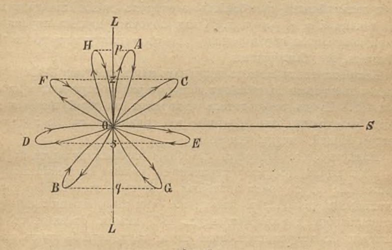
фиг. 4.

напередъ и нельзя знать достаточно-ли сильно будетъ это измѣненіе для того, чтобы его можно было замѣтить. Именно въ магнитномъ полѣ электроны должны отклоняться отъ прямолинейнаго пути и описывать кривой путь, встрѣчая трубку уже не въ P, а въ иномъ мѣстѣ, напр. въ Q. Если вблизи трубки надлежащимъ образомъ помѣстимъ магнитъ, то вы видите, что наше предсказаніе оправдывается. Для облегченія наблюденій внутри трубки передъ катодомъ K помѣщается пластинка со щелью, чрезъ которую проходитъ лишь узкій пучокъ катодныхъ лучей (такъ называютъ описываемое явленіе); кромѣ того внутри трубки расположена пластинка, покрытая флуоресцирующимъ составомъ; катодные лучи скользятъ вдоль послѣдней пластинки. При этомъ послѣдняя свѣтится и такимъ образомъ обнаруживаетъ форму катодныхъ лучей; даже издали легко видѣть какъ искривляются катодные лучи подъ вліяніемъ магнитнаго поля.

Въ заключеніе я разсмотрю вліяніе магнитныхъ силъ на свѣтоиспусканіе—явленіе, открытое Зееманомъ, когда онъ еще работалъ въ лабораторіи проф. Камерлингъ Оннеса. Это вліяніе становится понятнымъ, если принять, что частички, которыя колеблются въ свѣтящемъ тѣлѣ и своимъ дѣйствіемъ на эѳиръ обусловливаютъ лучеиспусканіе, не что иное, какъ наши электроны. Для краткости изложенія я сдѣлаю это предположеніе и изъ него выведу явленіе, о которомъ идетъ рѣчь.

Пусть отрицательный электронъ имѣетъ въ O (фиг. 5) свое положеніе равновѣсія; когда же онъ смѣщенъ, то находится подъ вліяніемъ силы, стремящейся его вернуть въ O; тогда электронъ будетъ съ опредѣленною повторяемостью колебаться вдоль прямой, проходящей чрезъ O; если вслѣдствіе этого онъ испускаетъ свѣтъ, то въ опредѣленномъ мѣстѣ спектра явится свѣтлая по-

лоска. Примемъ, что электронъ можетъ колебаться по любой прямой, проходящей чрезъ O. Въ магнитномъ полѣ троекторія колеблющагося электрона будетъ искривляться подъ вліяніемъ тѣхъ же силъ, которыя искривляютъ катодные лучи. Фиг. 5. показываетъ каковы будутъ эти траекторіи. Пусть электронъ сначала поднимается вверхъ изъ O; если бы не было магнитнаго поля, онъ качался бы по прямой LL. Подъ дѣйствіемъ поля траекторія его искривляется—подобно линіи BD на фиг. 4—вогнутостью вправо; слѣд. электронъ описываетъ лѣвую изъ двухъ линій, соединяющихъ A съ O; при наибольшемъ своемъ удаленіи отъ положенія равновѣсія электронъ достигаетъ точки A. Если



фиг. 5.

затѣмъ электронъ начнетъ возвращаться, то путь его—подобно линіи AC на фиг. 4—будетъ искривленъ и вогнутостью обращенъ влѣво; иначе говоря, электронъ возвращается въ положеніе равновѣсія по правой изъ тѣхъ двухъ линій, которыя соединяютъ A съ O. Такимъ образомъ электронъ описываетъ петлю OAO и качается подъ нѣкоторымъ угломъ къ OL. Въ этомъ направленіи онъ проходитъ чрезъ O и слѣдующую часть его пути мы получимъ разсуждая по прежнему. Такимъ образомъ за петлею OAO слѣдуютъ другія подобныя же петли OBO, OCO, ODO и т. д. Я предполагалъ, что магнитное поле очень сильно, чтобы петли получились значительно раскрытыми и значительно разставленными одна отъ другой; если бы магнитныя силы были слабѣе,

то обѣ вѣтви каждой петли сливались бы и лучи нашей звѣздообразной фигуры составляли бы между собою меньшіе углы; можно сказать, что тогда электронъ качается по прямой, которая непрерывно вращается около точки O.

Колебаніе электрона мы разложимъ на два составляющихъ колебанія, направленныхъ по LL и по перпендикуляру къ ней OS. Разсмотримъ лишь первыя: для этого изъ мѣста, занимаемаго электрономъ, будетъ опускать перпендикуляры на LL и прослѣдимъ за движеніемъ подошвы этого перпендикуляра; сперва она движется отъ p до q, затѣмъ возвращается назадъ, но доходитъ лишь до z, опускается до s, опять поднимается до O, и при дальнѣйшихъ колебаніяхъ электронъ доходитъ до крайнихъ точекъ s, z, q, p и т. д. Слѣд. подошва нашего перпендикуляра колеблется около точки O, но съ амплитудами то возрастающими, то убывающими.

Какой же свѣтъ можетъ испускать нашъ электронъ? Мы ограничимся лишь тѣми колебаніями, которыя распространяются вдоль линіи OS. Пусть наблюдатель находится на этой линіи и въ такомъ разстояніи отъ O, чтобы въ сравненіи съ послѣднимъ размѣры нашей фигуры исчезали.

Извѣстно, что свѣтовыя колебанія перпендикулярны къ лучу; слѣд. вдоль OS распространяются только колебанія параллельныя LL; этого рода колебанія не могутъ вызываться горизонтальными движеніями электрона; они вызываются лишь его вертикальными движеніями вдоль LL, иными словами, въ направленіи OS испускается свѣтъ такъ, какъ если бы нашъ электронъ не описывалъ звѣздообразной фигуры, но качался по LL', какъ было сказано, отъ p къ q, затѣмъ къ z, потомъ къ s и т. д. Но такого рода колебанія называются біеніями; если бы эти біенія совершались достаточно медленно, то глазъ, помѣщающійся гдѣнибудь на линіи OS, видѣлъ бы біенія свѣта, подобно тому, какъ ухо слышитъ біенія звука.

По различнымъ причинамъ видѣть біенія свѣта не удается, но имѣются другія средства для обнаруженія разсматриваемаго вліянія магнитнаго поля. Извѣстно, что біенія можно разсматривать, какъ результатъ двухъ одновременныхъ колебательныхъ движеній нѣсколько различныхъ періодовъ; при помощи спектроскопа эти два колебанія можно разъединить: если лучъ OS пропустить чрезъ щель спектроскопа, то вмѣсто одной спектральной линіи будутъ видны двѣ. Такое раздвоеніе спектральныхъ

линій, когда источникъ свѣта находится въ сильномъ магнитномъ полѣ, дѣйствительно наблюдалось Зееманомъ въ сильноразсѣвающій спектроскопъ; я проектирую часть спектра кадмія, и вы замѣтите нѣкоторые изъ этихъ „дуплетъ".

Я не буду изслѣдовать явленіе во всѣхъ подробностяхъ. Замѣчу только, что по линіи OS распространяются еще колебанія перпендикулярныя къ плоскости чертежа, на которыя магнитное поле не имѣетъ никакого вліянія; эти колебанія даютъ спектральную линію внутри дуплета, такъ что получается собственно тройная линія.

Изслѣдованія измѣненія спектральныхъ линій, вызываемыхъ магнитными силами, распространено теперь на очень большое число элементовъ. При этомъ обнаружились нѣкоторыя осложненія, какъ будто бы природа издѣвалась надъ нашими простыми объясненіями; но въ большинствѣ случаевъ дѣло происходитъ такъ, какъ и въ случаѣ кадмія; поэтому сущность изложенной теоріи безъ вѣрна, и мы можемъ принять, что дѣйствительно электроны своими колебаніями испускаютъ свѣтъ. Изъ этого положенія мы выведемъ ближайшія слѣдствія.

Прежде всего мы уже знаемъ, что электронъ вызываетъ въ эѳирѣ извѣстныя измѣненія состоянія, опредѣляемыя его зарядомъ и зависящія отъ его движенія. Эти измѣненія состоянія эѳира обусловливаютъ всѣ дѣйствія одного электрона на сосѣдніе электроны. Колеблющійся электронъ вызываетъ въ эѳирѣ такія же измѣненія, и нѣтъ ничего естественнѣе, какъ видѣть въ нихъ сущность свѣтовыхъ колебаній и принять, что они состоятъ въ періодическомъ нарушеніи равновѣсія того же рода, какъ и тѣ измѣненія состоянія, которыя происходятъ при электрическихъ и магнитныхъ дѣйствіяхъ. Въ этомъ состоитъ электромагнитная теорія свѣта, къ которой Клеркъ Максвелль былъ приведенъ теоретическими соображеніями; эта теорія получила значительное распространеніе послѣ того, какъ Герцъ доказалъ на опытѣ, что періодическое нарушеніе электромагнитнаго равновѣсія, вызываетъ въ эѳирѣ волны, которыя, будучи во многихъ отношеніяхъ похожими на свѣтовыя, но болѣе длинныя, распространяются съ тою же скоростью, какъ и свѣтъ.

Къ другому слѣдствію приводитъ насъ множество линій, которое мы встрѣчаемъ въ спектрахъ большинства элементовъ. Это доказываетъ намъ, что частицы этого вещества или даже

его атомы (ибо иногда несомнѣнно, что отдѣльные атомы высылаютъ свѣтъ) могутъ колебаться многими различными способами. Это доказываетъ, что атомы суть тѣльца сложнаго строенія, а отсюда одинъ шагъ къ предположенію, что электроны, которые своимъ движеніемъ возбуждаютъ свѣтъ, суть лишь малыя части атома.

Въ настоящее время среди физиковъ замѣчается стремленіе причину многихъ явленій приписать этимъ заряженнымъ частичкамъ; и многое говорить въ пользу того предположенія, что электроны составляютъ существенную часть матеріи. Насколько мы знаемъ, электроны образуютъ связь между вѣсомою матеріею и эѳиромъ и они одни находятся въ такой связи съ эѳиромъ, что своимъ присутствіемъ и своимъ движеніемъ измѣняютъ его состояніе. Поэтому многіе питаютъ надежду, что при помощи электроновъ даже силу тяжести и молекулярныя силы удастся объяснить, какъ нѣкоторые процессы въ эѳирѣ.

Въ физическомъ кабинетѣ Александровскаго кадетскаго корпуса

Н. С. Дрентельна.

Когда участники Съѣзда преподавателей посѣщали физическій кабинетъ Александровскаго кадетскаго корпуса, имъ были показаны опыты, описанные мною въ Педагогическомъ Сборникѣ военно-учебныхъ заведеній. Въ виду интереса, съ которымъ преподаватели отнеслись къ этимъ опытамъ, я вновь опишу здѣсь нѣкоторые изъ нихъ.

1. *Деревянный штативъ*, служащій для многихъ классныхъ опытовъ.

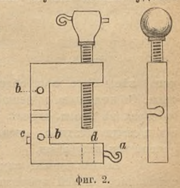
Вдоль вертикальнаго деревяннаго бруска A (фиг. 1) съ продольнымъ прорѣзомъ (см. отдѣльно представленную нижнюю часть D) могутъ передвигаться двѣ небольшія деревянныя струбцинги, прикрѣпляемыя барашковыми винтами; рукоятка винта струбцинги для удобства укорочена и снабжена желѣзнымъ

крючкомъ или, лучше, замѣнена шарообразной насадкою; конецъ же винта долженъ быть срѣзанъ (притупленъ). Отверстіе, въ которое вставляется барашковый винтъ, дѣлается такъ, чтобы винтъ можно было вынуть и вложить со стороны, не свинчивая гайки (барашка). Кромѣ средняго отверстія, имѣется два боковыхъ (*b*, фиг. 2), помощью которыхъ можно двумя барашковыми винтами накрѣпко установить струбцингу въ боковомъ положеніи. Чтобы можно было быстро вынимать винты изъ продольнаго разрѣза бруска *A*, не свинчивая гаекъ, онъ сверху и снизу оканчивается отверстіями, чрезъ которыя свободно проходятъ головки винтовъ; этотъ способъ выниманія и вкладыванія винтовъ представляетъ большое удобство, и имъ не слѣдуетъ пренебрегать. Таково въ существенныхъ чертахъ устройство штатива.

фиг. 1.

Описанный штативъ въ связи съ нѣсколькими добавочными частями можетъ имѣть множество различныхъ примѣненій, какъ видно изъ нижеслѣдующихъ примѣровъ.

а) Съ помощью струбцинги можно на желаемой высотѣ укрѣпить доску (полку) для установки различныхъ предметовъ. Одинъ (средній) винтъ держитъ уже *очень надежно*. Но на всякій случай весьма удобно снабдить одну изъ струбцингъ маленькимъ деревяннымъ шипомъ с (фиг. 2), который входилъ бы въ прорѣзъ вертикальнаго бруска штатива. Наконецъ можно прикрѣпить струбцингу наглухо бокомъ, пользуясь боковыми отверстіями, т.-е. двумя винтами. При струбцингахъ для ажурной выпиловки (которыя именно очень пригодны для настоящей цѣли) имѣются надвижныя дощечки, могущія служить очень хорошими полочками во многихъ случаяхъ. Въ качествѣ полки можетъ служить и дно небольшого деревяннаго ящика, бокъ котораго привинченъ къ штативу. Да



фиг. 2.

и самый ящикъ, легко и прочно устанавливаемый на различной высотѣ, бываетъ иногда полезенъ, напримѣръ для помѣщенія въ немъ керосиновой лампочки (конечно съ отверстіемъ для ламповаго стекла) при свѣтовыхъ опытахъ и т. п. Ящикъ съ низкими стѣнками (дюйма два), бокъ котораго привинченъ къ штативу, а въ днѣ продѣлано надлежащей величины отверстіе, является очень удобною рамкою для укрѣпленія зеркальца, ламповаго стекла, оптическихъ чечевицъ (вдѣланныхъ въ двойной кусокъ папки), причемъ поворотомъ ящика вокругъ винта можно придавать имъ желаемый наклонъ. Матовое стекло или зеркало бóльшихъ размѣровъ прямо вдѣлывается вмѣсто дна такого ящика (или, лучше, въ особо изготовленную для этого рамку въ видѣ ящика съ низкими сторонами). Прорѣзъ въ боковой сторонѣ непремѣнно долженъ быть снабженъ отверстіемъ для свободнаго вкладыванія и выниманія головки винта.

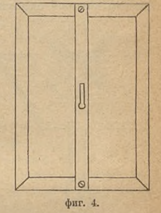
b) Струбцинга даетъ возможность укрѣпить на желаемой высотѣ и въ любомъ положеніи деревянный брусъ. Горизонтальный брусъ часто нуженъ для подвѣшиванія разныхъ предметовъ. Весьма удобно имѣть для этой цѣли и отдѣльный брусъ съ перпендикулярною приставкою посрединѣ; послѣдняя снабжена прорѣзомъ для прикрѣпленія помощью (двухъ) барашковыхъ винтовъ; головки винтовъ вставляются и вынимаются чрезъ среднее отверстіе (фиг. 3). Въ брусъ ввинчивается нѣсколько крючковъ для подвѣшиванія.

фиг. 3.

c) Къ крючку *a* (фиг. 2), ввинченному въ струбцингу (конечно можно ввинтить его иначе, напримѣръ снизу), удобно подвѣшиваются обыкновенные вѣсы, причемъ чашки ихъ, когда вѣсы безъ употребленія, ложатся на основную доску штатива. Съ помощью дощечки, укрѣпленной въ другой струбцингѣ (которая въ этомъ случаѣ привинчивается въ боковомъ положеніи и сзади штатива), очень просто арретируется чашка съ укороченными шнурками.

d) Всякая доска, служащая экраномъ и т. п., съ помощью сдѣланнаго въ ней прорѣза (и отверстія для головки винта), можетъ быть прочно прикрѣплена къ штативу. Въ качествѣ экрановъ для свѣтовыхъ опытовъ очень пригодны рамки съ натянутымъ холстомъ, служащія для рисованія масляными красками.

Привинтивъ къ такой рамкѣ продольную планку съ прорѣзомъ для винта (фиг. 4), легко установить ее на штативѣ на желаемой высотѣ. Въ случаѣ большого холста (аршина полтора въ сторонѣ) слѣдуетъ придѣлать два бруска крестообразно и прикрѣплять къ штативу двумя винтами. Привинченная къ рамѣ планка позволяетъ прикрѣпить раму къ штативу (вообще всякому прямоугольному бруску, стоящему отвѣсно) и иначе—съ помощью маленькой желѣзной струбцинги, которою прихватываютъ планку.


фиг. 4.

e) Если взять двѣ снабженныхъ вырѣзами пробки (фиг. 5), то можно укрѣпить въ штативѣ стеклянную трубку—вертикально, горизонтально или въ любомъ иномъ положеніи. Для этого одна изъ пробокъ снабжается двумя проволочными шпеньками (круглыми проволочными гвоздями), которые втыкаются въ отверстія, сдѣланныя (прожженныя спицею) въ струбцингѣ (*d*, фиг. 2); впрочемъ очень часто можно обойтись и безъ шпеньковъ. Беря пробки, вырѣзанныя надлежащимъ образомъ, легко зажать въ струбцингѣ (благодаря ея значительнымъ размѣрамъ) такіе предметы, которые не удается укрѣпить въ обыкновенно употребляемыхъ штативахъ. Такимъ же образомъ въ струбцингѣ укрѣпляется колба, реторта и пр. въ любомъ положеніи.

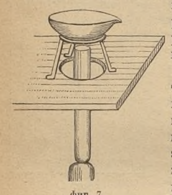
фиг. 5.

f) Съ помощью доски съ круглымъ отверстіемъ, укрѣпленной горизонтально въ струбцигѣ, удобно устанавливается на требуемой высотѣ воронка. Для меньшихъ воронокъ употребляются кольцеобразныя жестяныя накладки или свитыя изъ проволоки кольца съ тремя выдающимися концами (фиг. 6). Въ случаѣ, если приходится часто устанавливать нѣсколько воронокъ (при химическихъ опытахъ), полезно имѣть отдѣльную полочку съ нѣсколькими отверстіями, снабженную боковымъ придаткомъ для прикрѣпленія къ штативу съ помощью винта.



фиг. 6.

g) Поставивъ на ту же доску треножникъ отъ спиртовой лампы (фиг. 7), можно помѣщать на него чашки, колбы и пр. и нагрѣвать ихъ посредствомъ обыкновенной керосиновой лампы (стекло которой пропущено сквозь отверстіе доски), что часто представляетъ не мало удобствъ, ибо керосиновая лампа—равномѣрный, легко регулируемый и притомъ очень дешевый источникъ тепла.



фиг. 7.

h) Едва-ли стóитъ упоминать о томъ, что съ помощью винта струбцинги (и, если нужно, двухъ кусковъ пробки или деревяшекъ) легко закрѣпляется конецъ веревки, резиноваго шнура (резиновой трубки), вязальной спицы, служащей въ качествѣ указателя или отмѣтчика, проволоки и пр.

i) Для удлиненія вертикальнаго бруска служитъ добавочный брусокъ, тоже снабженный прорѣзомъ съ отверстіями (*C*, фиг. 1). На рисункѣ изображенъ только одинъ винтъ, которымъ прикрѣпляется этотъ добавочный брусокъ; большею частью этого достаточно; но не лишнее имѣть еще болѣе длинную надставку, которая закрѣпляется двумя винтами. Послѣдняя нужна напримѣръ для подвѣшиванія простыхъ маятниковъ большей длины, нежели секундный.

k) Достаточно длинный брусъ съ желобомъ, служащій въ качествѣ наклонной плоскости для опытовъ надъ паденіемъ тѣлъ, удобно прикрѣпляется къ штативу при посредствѣ бокового отверстія и винта подъ различными углами къ горизонту; свободный нижній конецъ бруска опирается при этомъ о другой край стола. По другую сторону штатива подвѣшивается необходимый при наблюденіяхъ простой маятникъ.

l) Конечно полезно имѣть два одинаковыхъ штатива. Тогда можно прочно устанавливать предметы бóльшихъ размѣровъ (зеркала, матовыя стекла, рамки, экраны, рисунки, таблицы и пр.), можно укрѣпить на желаемой высотѣ прочный горизонтальный брусъ для подвѣшиванія болѣе тяжелыхъ вещей или достаточно толстую доску для установки приборовъ, которые должны быть видны издалека. Если, кромѣ того, приспособить штативы такъ, чтобы они могли быть привинчиваемы (барашковыми же винтами) къ лекціонному столу, вдоль котораго они могли бы пере-

двигаться (для этого стоитъ только сдѣлать надлежащій прорѣзъ въ основной доскѣ штатива и отверстія въ столѣ), то получается прочный станокъ, пригодный для разнообразнѣйшихъ цѣлей.

Этихъ примѣровъ достаточно, чтобы видѣть пригодность и удобства штатива. Нѣтъ возможности перечислить того множества случаевъ, въ которыхъ онъ можетъ оказаться полезнымъ при опытахъ (иногда совсѣмъ неожиданнымъ образомъ), благодаря простотѣ и надежности установокъ.

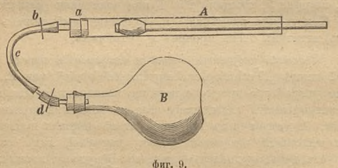
Что касается размѣровъ штатива, то они, конечно, могутъ быть довольно разнообразны. Очень удобными оказались слѣдующіе для чаще всего употребляемыхъ штативовъ бо́льшаго размѣра. Основная доска: длина (по переднему краю) около 40 cm., ширина 30, толщина 4; вертикальный брусъ: вышина 75 cm., ширина 5, толщина 2·5. Длина надставки (меньшей) 30—40 cm. При такихъ размѣрахъ (и надлежаще выбранныхъ струбцингахъ) штативъ очень проченъ и устойчивъ.

2. *Простой воздушный насосъ и взвѣшиваніе газовъ.* Въ извѣстной книгѣ „Technik der Experimentalchemie" von R. Arendt, описано устройство простого поршня, назначаемаго для опытовъ надъ раствореніемъ углекислаго газа въ водѣ при повышенномъ давленіи. Я устроилъ съ помощью этого поршня и стеклянной трубки маленькій *воздушный насосъ*, который, какъ оказалось, дѣйствуетъ весьма удовлетворительно. Берутъ стеклянную трубку около 1·5 cm. наружнаго діаметра и 30—35 cm. длины. На концѣ цилиндрической палочки соотвѣтствующей длины дѣлаютъ круговой вырѣзъ или шейку (*a*, фиг. 8) около 3 cm. длиною и плотно обматываютъ это мѣсто ниткою, придавая обмоткѣ веретенообразную форму; затѣмъ на обмотку плотно насаживаютъ кусокъ резиновой трубки. Получается упругій резиновый поршень,

фиг. 8.

который, будучи вставленъ въ трубку и смазанъ свинымъ саломъ, держитъ очень хорошо. Конецъ трубки (*a*, фиг. 9) затыкается резиновою пробкою съ отверстіемъ, въ которое вставлена короткая стеклянная трубочка; послѣдняя сообщается толстостѣнною резиновою трубкою съ тою колбою (*B*), въ которой хотятъ разрѣдить воздухъ. Колба (въ 200—250 куб. cm. вмѣсти-

мости) соединена съ трубкою с помощью двухъ стеклянныхъ трубочекъ и резиновой перемычки, которая можетъ быть заперта винтовымъ (такъ наз. гофмановскимъ) зажимомъ: на рисункѣ онъ изображенъ чертою *d*; такимъ образомъ колбу вмѣстѣ съ резиновою перемычкою и зажимомъ можно отдѣлять отъ трубки с. Въ мѣстѣ *b* на послѣднюю насаживается простой пружинный (такъ наз. моровскій) зажимъ. Чтобы разрѣдить воздухъ въ колбѣ, вгоняютъ поршень до самаго конца трубки и вставляютъ пробку *a*. Потомъ, положивъ трубку на столъ и придерживая ее пальцами лѣвой руки за конецъ *a*, надавливаніемъ той же руки открываютъ зажимъ *b*: тогда вытягиваютъ поршень. Освободивъ затѣмъ зажимъ *b* (т.-е. давъ ему закрыться), вынимаютъ пробку *a*, вдвигаютъ поршень и повторяютъ указанныя дѣйствія 10—15 разъ подъ рядъ. Послѣ этого запираютъ винтовой за-



фиг. 9.

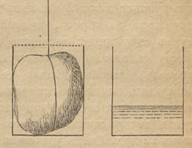
жимъ *d* и отдѣляютъ колбу. Опустивъ конецъ ея трубочки въ воду и открывъ зажимъ, можно по количеству вошедшей воды приблизительно судить о количествѣ удаленнаго воздуха. Конечно вкладываніе и выниманіе пробки можетъ показаться нѣсколько мѣшкотнымъ; но самое выкачиваніе длится всего минутъ пять, а простота и наглядность пріема не оставляютъ желать бóльшаго.—Стеклянная трубка „насоса" непремѣнно должна быть чиста (т. е. безъ остатковъ пропылившейся смазки отъ прежнихъ опытовъ), а поршень хорошо смазанъ свинымъ саломъ. Сохраняя приборъ, *не слѣдуетъ оставлять поршень въ трубкѣ*: извѣстно, что резина со временемъ крѣпко пристаетъ къ стеклу. При бережномъ обращеніи поршень служитъ нѣсколько лѣтъ; со временемъ конечно приходится замѣнить резину свѣжимъ кускомъ трубки.—Если въ распоряженіи не имѣется паяльной лампы, то можетъ встрѣтиться затрудненіе въ обработкѣ самой

трубки, назначаемой для насоса. Но тогда нѣсколько трубокъ упомянутыхъ размѣровъ можно заказать при покупкѣ или выпискѣ физическихъ приборовъ.

3. Съ помощью этого насоса и аптекарскихъ вѣсовъ съ роговыми чашками (между ними довольно обыкновенны экземпляры, на которыхъ при нагрузкѣ въ 20—30 гр. прибавка 1 центиграмма уже замѣтна) легко обнаружить вѣсомость воздуха; если же взять маленькіе „химическіе" вѣсы (граммовъ на 25), то очень недурно удается и опредѣлить *вѣсъ 1 литра комнатнаго воздуха.* Объемъ взвѣшиваемаго воздуха находится по числу куб. cm. вошедшей въ колбу воды. Дѣлая это опредѣленіе много разъ, при разныхъ условіяхъ, я находилъ массу литра комнатнаго воздуха 1·2—1·4 gr. Въ дѣйствительности литръ комнатнаго воздуха вѣситъ около 1·2 gr.

4. Демонстрировать давленіе воды на погруженное въ нее тѣло можно очень просто слѣдующимъ образомъ. Тяжелое тѣло привязываютъ къ одному концу гутаперчевой нити, другой конецъ которой поднимаютъ до тѣхъ поръ, пока не поднимется и само тѣло; при этомъ наша нить сильно вытягивается; если же теперь тѣло погрузить въ воду, то гутаперчевая нить замѣтно укорачивается.

5. Для опытнаго подтвержденія *архимедова закона* можно пользоваться слѣдующимъ простымъ приспособленіемъ. Подбираютъ камень (кусокъ мрамора, надлежащимъ образомъ обтесанный), который входилъ бы безъ значительныхъ промежутковъ въ стаканчикъ или широкогорлую баночку. Опустивъ камень на ниткѣ въ стаканчикъ, наливаютъ его до краевъ водою. Затѣмъ осторожно вынимаютъ камень: въ стаканчикѣ освобождается пространство, равное объему камня (фиг. 10). Поставивъ стаканчикъ на чашку вѣсовъ и подвѣсивъ къ ней камень, уравновѣшиваютъ все это дробью. Послѣ этого погружаютъ камень въ сосудъ съ водою: равновѣсіе нарушается, и для возстановленія его приходится долить стаканчикъ водою снова до самыхъ краевъ, т.-е. прибавить вѣсъ, равный вѣсу вытѣсненной камнемъ воды. Конечно опытъ долженъ производиться съ грубыми (мало


фиг. 10.

чувствительными) вѣсами, что впрочемъ *въ равной мѣрѣ относится и до опыта съ ведеркомъ.*

6. Упрощенный *картезіанскій водолазъ* можно устроить слѣдующимъ образомъ. Подбираютъ маленькую аптечную стклянку такого вѣса и объема, чтобы она только-что держалась у поверхности воды; если нужно, наматываютъ на горлышко 2—3 оборота свинцовой (или отожженой мѣдной) проволоки. Стклянochку пускаютъ плавать въ узкій (газопріемный) цилиндръ, почти до краевъ наполненный водою: она не опрокидывается, будучи удерживаема стѣнками цилиндра (фиг. 11). Послѣ этого ладонью, наложенною на края цилиндра (съ нѣкоторымъ размахомъ), сжимаютъ воздухъ надъ водою: стклянochка тонетъ, при чемъ ясно видно вхожденіе въ нее воды.

Фиг. 11.

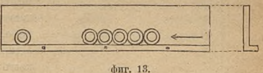
7. Для большинства опытовъ съ *оптическими стеклами* чрезвычайно пригодны *очечныя стекла,* какъ по довольно разнообразному выбору фокусныхъ разстояній, такъ и (въ особенности) по дешевизнѣ. Я давно пользуюсь ими для названной цѣли. Стекло вправляется въ квадратный (или круглый) кусокъ папки съ краями въ 5 или 8 cm. шириною; эта оправа укрѣпляется или въ зажимѣ штатива, или прикалывается чертежными кнопками къ деревянной стѣнкѣ ящика съ отверстіемъ, который служитъ въ качествѣ оптической камеры, или наконецъ укрѣпляется иными способами. (Здѣсь можетъ оказать услугу и описанный выше „универсальный штативъ“; картонную оправу, если она подходящихъ размѣровъ, прикалываютъ чертежными кнопками сбоку къ струбцингѣ штатива или устраиваютъ для этого особую рамку съ пазами, въ которую вдвигалась бы картонная оправа стеколъ). Чтобы вдѣлать стекло въ оправу, накладываютъ его на кусокъ папки съ отверстіемъ нѣсколько меньшаго діаметра, нежели самое стекло, покрывыютъ такимъ же кускомъ папки съ соотвѣтствующимъ вырѣзомъ и склеиваютъ оба куска столярнымъ клеемъ. Очень удобно и чисто дѣлается скрѣпленіе помощью „американскаго переплетчика“—проволочныхъ шпилекъ (которыми обыкновенно я и пользуюсь). Съ помощью очечныхъ стеколъ можно такимъ образомъ вполнѣ удовлетворительно показать много опытовъ, относящихся къ изображеніямъ дѣйствительнымъ и мнимымъ, а также къ устройству оптическихъ приборовъ. Прибавивъ еще маленькую ботаническую лупу и простое „панорам-

ное" стекло, получимъ коллекцію оптическихъ стеколъ, пригодную для всевозможныхъ опытовъ общеобразовательнаго курса.

8. *Измѣненіе формы тѣла вслѣдствіе неравномѣрнаго нагрѣванія его частей* весьма наглядно показывается слѣдующимъ образомъ. *Стеклянная трубка*, около аршина длиною, укрѣпляется однимъ концомъ въ зажимѣ штатива въ горизонтальномъ положеніи; высота свободнаго ея конца отмѣчается какимъ-нибудь образомъ. Если нагрѣть трубку пламенемъ спиртовой лампы у самаго мѣста прикрѣпленія, то вслѣдствіе неравномѣрнаго расширенія съ нижней и верхней стороны она замѣтно изгибается—свободный конецъ ея нѣсколько приподнимается (фиг. 12).

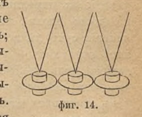
фиг. 12.

9. Опытъ съ передачею толчка упругими шарами можно сдѣлать съ простыми костяными колечками (отъ занавѣсей), помѣщая ихъ рядомъ на снабженную закраиною дощечку (фиг. 13). Если укрѣпить такія колечки горизонтально на пробкахъ съ двунитными подвѣсами (фиг. 14), то можно въ маломъ видѣ наблюдать тѣ же самыя явленія, какъ и на дорогомъ приборѣ съ шарами изъ слоновой кости.



фиг. 13.

10. Безъ всякихъ приборовъ можно дать наглядное понятіе о томъ, что *высота тона зависитъ отъ повторяемости колебаній* звучащаго тѣла. Для этого возьмемъ одинъ изъ тѣхъ книжныхъ переплетовъ, которые оклеены мелко-бороздчатымъ коленкоромъ; проводя ногтемъ поперекъ бороздокъ, услышимъ тонъ—тѣмъ болѣе высокій, чѣмъ быстрѣе движеніе пальца; при достаточно быстромъ движеніи тонъ переходитъ въ свистъ. (Подобный этому свистящій звукъ слышится и при треніи другъ о друга кусковъ атласной или шелковой матеріи). Для той же цѣли можно пользоваться напилкомъ или столярною пилою. Очень кстати будетъ здѣсь ссылка на тона разной высоты, которые слышны при распилкѣ дерева (въ осо-

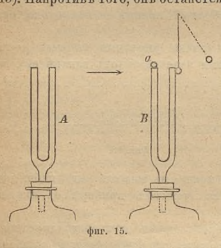


фиг. 14.

бенности круглою заводскою пилою), на тонъ, издаваемый барабаномъ молотилки и т. п.

11. Въ качествѣ простой сирены можетъ быть пригоденъ тотъ велосипедный свистокъ (почему-то именуемый „торпедо“), который даетъ тѣмъ болѣе высокій тонъ, чѣмъ сильнѣе въ него дуть. Равномѣрнымъ вдуваніемъ можно нѣкоторое время удерживать тонъ почти на одной и той же высотѣ.

12. Явленіе *звуковой отзывчивости* можно сдѣлать *видимымъ* съ помощью двухъ одинаково звучащихъ камертоновъ слѣдующимъ образомъ. Одинъ изъ камертоновъ приводится въ соприкосновеніе съ легкимъ маятничкомъ (изъ полой стеклянной бусины), а другой заставляютъ звучать: маятничекъ отбрасывается (фиг. 15). Напротивъ того, онъ останется въ покоѣ, если разстроить унисонъ камертоновъ. Для этого опыта — что всего важнѣе — вполнѣ достаточно пары обыкновенныхъ фортепьянныхъ камертоновъ: ножки ихъ вставляются помощью пробокъ въ небольшія аптечныя стклянки. Ударяютъ деревяннымъ молоткомъ съ пробочнымъ наконечникомъ. Разстояніе между камертонами не должно быть велико (вообще не болѣе полуаршина). Надо еще замѣтить, что при этой формѣ опыта важное — если не главное — участіе въ передачѣ колебаній принимаетъ та твердая подставка (доска стола), на которой стоятъ стклянки. Конечно для объясненія сути дѣла вовсе и не нужно, чтобы колебанія передавались воздухомъ — промежуточная среда можетъ быть и иная; но важная роль свойствъ твердой подставки приводитъ къ необходимости *предварительной пробы*, и обыкновенно скоро удается такъ поставить стклянки, что явленіе хорошо наблюдается. Вмѣсто маятничка можно также просто положить на ножку камертона бусину или бузинный шарикъ (*a*, фиг. 4); если ударить по другому камертону, не настроенному въ унисонъ съ первымъ, то шарикъ остается на мѣстѣ; при одинаковомъ же тонѣ онъ тотчасъ сбрасывается.

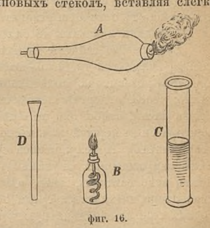


фиг. 15.

13. Здѣсь кстати замѣтить, что настраиваніе воздушныхъ массъ въ стклянкахъ, легко достигаемое вливаніемъ большаго или меньшаго количества воды, даетъ простой способъ изготовить нѣчто вродѣ органныхъ трубъ, звучащихъ напримѣръ тонами мажорнаго аккорда (можно взять do, mi, sol, do_1). Музыкальность звуковъ тогда особенно оттѣняется и даетъ поводъ обратить вниманіе на то, что многія органныя трубы въ сущности ничѣмъ не отличаются отъ описаннаго приспособленія, что это воздушныя массы различныхъ размѣровъ и формы, приводимыя дутьемъ въ колебательное движеніе. Для дутья по стклянкамъ удобно пользоваться сплющенною у одного конца латунною или эбонитовою трубкою (см. *D* на рис. 16); чтобы сплющить трубку изъ эбонита, конецъ ея размягчаютъ нагрѣваніемъ въ горячей водѣ. Едва-ли нужно упоминать, что подстроенныя надлежащимъ образомъ (по указанному пріему) воздушныя массы превосходно отзываются на тона соотвѣтствующихъ имъ камертоновъ, подносимыхъ къ отверстію стклянокъ.

Изготовивъ себѣ рядъ стклянокъ для опытовъ, стоитъ лишь отмѣтить въ нихъ уровень воды чертою (трехграннымъ напилкомъ), чтобы потомъ имѣть возможность при надобности безъ новыхъ хлопотъ „настраивать" ихъ.

14. Простые *воздушные резонаторы* можно, какъ извѣстно, изготовлять напримѣръ изъ ламповыхъ стеколъ, вставляя слегка оттянутую къ концу трубочку при помощи пробки въ болѣе узкій конецъ стекла (*A*, фиг. 16). Дѣйствіе такихъ резонаторовъ легко сдѣлать *видимымъ* слѣдующимъ образомъ. а) На край болѣе широкаго (открытаго) конца ламповаго стекла насыпаютъ немного плауннаго сѣмени (въ аптекахъ semen Lycopodii) или пробочной пыли (истертой напилкомъ пробки). Если по близости произвести тонъ одинаковый съ собственнымъ тономъ резонатора (который опредѣляется умѣреннымъ косвеннымъ дутьемъ по отверстію чрезъ упомянутую выше сплющенную трубку), то легкій порошокъ съ силою выбрасы-



фиг. 16.

вается наружу (если угодно, можно произвести и вспышку, приблизивъ въ этотъ моментъ зажженую спичку); при иномъ тонѣ онъ остается на мѣстѣ. b) Изготовляютъ (изъ маленькой стклянки съ пробкою, въ которую вставленъ кусочекъ латунной трубки) лампочку, фитиль который напитываютъ вазелиновымъ масломъ (*B*, фиг. 16); маленькое пламя такой лампочки гаснетъ при малѣйшемъ движеніи воздуха и поэтому очень пригодно для только-что описаннаго опыта. Помѣщаютъ лампочку у самаго отверстія резонатора, такъ чтобы пламя приходилось примѣрно на его srединѣ (для этого укрѣпляютъ лампочку на какомъ-нибудь штативѣ), и производятъ надлежащій тонъ: пламя тотчасъ же гаснетъ. Тона производятся съ помощью стклянокъ или цилиндра (*C* фиг. 16), подстроенныхъ вливаніемъ воды (опять-таки съ предварительно сдѣланными мѣтками); для дутья служитъ трубка со сплющеннымъ концомъ (*D*). Источникъ звука конечно помѣщается прямо противъ отверстія резонатора, по возможности на одинаковой съ нимъ высотѣ. Слѣдуетъ сперва показать, что пламя лампочки не движется (и легкій порошокъ не выбрасывается) отъ тона неодинаковаго съ тономъ резонатора—даже если источникъ звука находится довольно близко отъ его отверстія; тогда устраняется возможность мысли, что толчокъ по пламени или порошку производится просто боковою струею воздуха (вѣтромъ) изъ трубки. Понятно, что разстояніе звукового источника отъ отверстія резонатора не должно быть велико (около 1/4 аршина и никакъ не болѣе полуаршина).

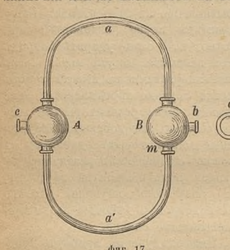
Субъективно дѣйствіе такихъ резонаторовъ наблюдаютъ, какъ всегда, вкладывая узкій конецъ въ ушное отверстіе и производя противъ резонатора подходящіе и неподходящіе тона. (Очень важно, чтобы отверстіе наконечника не упиралось въ какія-либо мягкія части, чтобы оно не было закрыто; имѣющіе дѣло съ резонаторами въ первый разъ часто упускаютъ изъ виду эту предосторожность). Прислушиваясь чрезъ такой резонаторъ къ сложнымъ окружающимъ звукамъ (говору, шепоту, шороху и пр.), можно ясно слышать, какъ одинъ тонъ, именно тонъ взятаго резонатора, выдѣляется среди остальныхъ. Въ качествѣ резонаторовъ еще лучше дѣйствуютъ такъ называемыя „шарообразныя воронки“, употребляемыя въ химическихъ лабораторіяхъ; болѣе узкій конецъ такой воронки слѣдуетъ укоротить и нѣсколько оттянуть кончикъ на паяльной лампѣ. Но примѣненіе ламповыхъ стеколъ гораздо проще, дешевле и даетъ результаты вполнѣ

достаточные для первоначальнаго ознакомленія съ воздушными резонаторами.

Тѣ же резонаторы даютъ возможность выдѣлить основной тонъ изъ такихъ звуковъ, высота которыхъ недостаточно опредѣленна и которые поэтому обыкновенно не относятся къ числу „музыкальныхъ". Таковы напримѣръ звуки, издаваемые при ударѣ кусками дерева. Извѣстно, что если ударять подрядъ по нѣсколькимъ бревнамъ разной величины, то уже можно чрезъ сравненіе замѣтить явные признаки различія въ высотѣ тоновъ (ксилофонъ). Но разница дѣлается гораздо опредѣленнѣе, если прислушиваться къ такимъ звукамъ чрезъ резонаторы изъ ламповыхъ стеколъ. Для классныхъ опытовъ изготовляютъ пару сухихъ сосновыхъ досокъ, основные тона которыхъ одинаковы съ тонами пары резонаторовъ. Вложивъ наконечникъ резонатора въ ухо и ударивъ по соотвѣтствующей (подвѣшенной на шнуркахъ) доскѣ деревяннымъ молоткомъ, получаютъ ощущеніе рѣзкаго различія тоновъ. При хорошей подстройкѣ дѣйствіе на воспріимчивое ухо бываетъ иногда невыносимо сильно.

15. *Интерференція звука.* Нижеслѣдующій приборъ представляетъ упрощеніе и видоизмѣненіе извѣстнаго аппарата Квинке. Измѣненіе, дѣлающее его пригоднымъ для показыванія явленія цѣлому классу сразу, состоитъ въ прибавкѣ къ нему двухъ *резонаторовъ*: изъ нихъ одинъ, воспринимая тонъ соотвѣтствующей ему высоты, усиливаетъ колебанія; дѣйствіе же другого, которому колебанія передаются, наблюдается по описанному выше пріему—съ помощью плауннаго сѣмени или пламени вазелиновой лампочки. Устраивается приборъ слѣдующимъ образомъ. Подбираютъ пару маленькихъ трехгорлыхъ колбъ (баллоновъ) такъ, чтобы при дутьѣ онѣ издавали тонъ одной и той же высоты. (*Маленькая* разница не вредитъ; въ случаѣ надобности тона можно подстроить, всыпая въ одну изъ колбъ немного дроби). Колбы сообщаются между собою двумя резиновыми трубками (a, a', фиг. 17), для чего въ горлышки вставляютъ, съ помощью кусочковъ резиновой трубки, по короткой стеклянной трубочкѣ (рис. 17 изображаетъ расположеніе частей въ планѣ). Хорошо взять обѣ соединительныя кишки такой длины, которая равнялась бы половинѣ длины волны того тона, съ которымъ приходится имѣть дѣло (въ зависимости отъ выбора резонаторовъ); почему это нужно, будетъ понятно послѣ. Противъ отверстія b ставится источникъ звука, настроенный подъ тонъ аппарата;

если это цилиндръ (d), то, настроивъ его вливаніемъ воды, можно тутъ же произвести приблизительное опредѣленіе длины волны. Къ самому отверстію c приставляютъ пламя вазелиновой лампочки или же насыпаютъ на его край немного плаунннаго сѣмени. Если издать тонъ, то пламя лампочки гаснетъ, а плаунное сѣмя выбрасывается (между тѣмъ какъ тонъ иной высоты конечно не производитъ дѣйствія). Замѣнимъ теперь трубку a' другою, которая длиннѣе ея на 1/2 волны, и снова произведемъ тонъ: мы не получимъ при c никакого дѣйствія. Но если трубку a' удлинимъ еще на 1/2 волны, приставивъ къ ней (съ помощью стеклянной трубочки) первую болѣе короткую кишку (длина которой, какъ предположено было при устройствѣ прибора, именно равна полуволнѣ), то при c снова наблюдается сильное дѣйствіе. Изготовленіе прибора конечно немного хлопотливо, но въ сущности просто. Въ сдѣланномъ мною приборѣ (дѣйствующемъ безъ всякихъ осѣчекъ уже 8 лѣтъ) шарообразныя колбы имѣютъ вмѣстимость по 60 с. cm. (такъ называемыя двухунцовыя); длина волны около 70 cm.; двѣ соединительныя резиновыя трубки (такой толщины, какая обыкновенно употребляется для газовыхъ горѣлокъ) имѣютъ слѣдовательно длину по 35 cm.; третья, болѣе длинная—70 cm. Чтобы все было лучше видно, колбы устанавливаются на различной высотѣ; для ихъ укрѣпленія очень удобенъ напримѣръ универсальный штативъ; колбы зажимаются въ струбцингахъ помощью двухъ кусковъ пробки съ вырѣзанными въ нихъ выемками. Если нѣтъ такого штатива, то колбы устанавливаютъ посредствомъ изогнутыхъ надлежащимъ образомъ проволокъ, которыя зажимаютъ въ обыкновенномъ желѣзномъ штативѣ; эти проволоки могутъ быть укрѣплены и на особыхъ деревянныхъ подставкахъ.



фиг. 17.

Пасхальное засѣданіе 1902 г. французскаго Физическаго Общества

Э. Ротэ[1]).

1. Посѣщеніе мастерскихъ Сюркуфа.

Только на выставкѣ Французскаго Физическаго Общества, устраиваемой ежегодно на пасхальной недѣлѣ, можно ознакомиться съ послѣдними научными новостями и услышать выдающихся специалистовъ, читающихъ лекціи по научнымъ вопросамъ, имѣющимъ современный интересъ.

Недавняя попытка Сантосъ-Дюмона облетѣть эйфелеву башню обратила всеобщее вниманіе на воздухоплаваніе. Поэтому было весьма интересно начать засѣданіе нынѣшняго года съ посѣщенія аэростатной мастерской Сюркуфа (ateliers de M. Surcouf, construction d'aérostats), который оказалъ членамъ Общества самый радушный пріемъ. Въ живой бесѣдѣ г. Сюркуфъ ознакомилъ своихъ посѣтителей съ многочисленными предосторожностями, которыя соблюдаются при постройкѣ аэростатовъ.

Выборъ матеріала для оболочки представляетъ очень сложную задачу. Прежде употребляли китайскую матерію (pongé de Chine) очень неправильной ткани, ручного производства; позже стали употреблять ліонскія матеріи. Во всякомъ случаѣ снаружи оболочка покрывается лакомъ. Сюркуфъ изобрѣлъ чрезвычайно прочную матерію; она тройная: между двумя бумажными тканями помѣщается тонкій слой каучука; внѣшняя оболочка, покрытая лакомъ, непроницаема; внутренняя оболочка медленно пропускаетъ газъ; нити обѣихъ тканей расположены различно: въ

---

[1]) Переводъ съ французскаго по рукописи, составленной авторомъ для *Физическаго Обозрѣнія*.

одной нити расположены горизонтально и вертикально, а въ другой подъ углами въ 45°.

Передъ посѣтителями Сюркуфъ дѣлаетъ слѣдующіе опыты. Обыкновенная матерія, натянутая достаточнымъ грузомъ, вдругъ разрывается на двѣ части. Совершенно иное наблюдается съ его матеріею: когда натяженіе становится слишкомъ большимъ, въ этой матеріи образуется трещинка; съ увеличеніемъ нагрузки эта трещинка не увеличивается, но постепенно образуются новыя трещинки, которыя впрочемъ столь малы, что видны лишь на свѣтъ. Понятно послѣ этого, что такая матерія, обладая очень большимъ сопротивленіемъ, вполнѣ гарантируетъ аэронавта. Дѣйствительно, представимъ себѣ, что шаръ поднялся слишкомъ высоко: вслѣдствіе значительнаго уменьшенія внѣшняго давленія шаръ сильно надувается; такъ какъ нити внутренней оболочки растягиваются при этомъ подъ угломъ, то онѣ сопротивляются лучше, чѣмъ нити наружной оболочки которыя растягиваются по своей длинѣ; во внѣшней оболочкѣ образуются трещинки, а внутренняя оболочка проницаема для газовъ; вслѣдствіе этого прежде, чѣмъ шаръ успѣетъ лопнуть, нѣкоторое количество газа выйдетъ изъ него наружу, и установится равновѣсіе.

Въ послѣднее время аэростаты обыкновенно наполняются изъ бомбъ со сжатымъ водородомъ, очень удобныхъ для перевозки.

Важно имѣть возможность изслѣдовать проницаемость данной матеріи для того или другого газа; для этого служитъ приборъ полк. Ренара, завѣдующаго военною аэростаціею во Франціи. Принципъ прибора очень простъ: это обыкновенный газометръ, въ которомъ верхняя часть колокола сдѣлана изъ изслѣдуемой матеріи; колоколъ, нижній край котораго погруженъ въ воду, подвѣшенъ къ одному плечу вѣсовъ и наполняется даннымъ газомъ; такимъ образомъ весь приборъ аналогиченъ съ вѣсовымъ барометромъ. По мѣрѣ истеченія газа чрезъ верхнюю стѣнку, коромысло вѣсовъ наклоняется, и уголъ его наклоненія указываетъ на измѣненіе давленія.

Въ послѣднее время много занимались вопросомъ объ управленіи шарами надъ поверхностью моря. Между прочимъ Гервэ (Hervé) изобрѣлъ особые девіаторы-поплавки, которые—подъ вліяніемъ равнодѣйствующей силы вѣтра и гидростатическаго давленія—увлекаютъ шаръ по данному направленію.

Присутствіе гг. Ренара и Герве въ мастерскихъ Сюркуфа придавало особый интересъ ихъ посѣщенію, о которомъ всѣ члены Общества сохранятъ самое лучшее воспоминаніе.

2. Лекція Р. Свинжедау: Опытное изслѣдованіе вибратора Герца[1]).

При изученіи разряда конденсатора обыкновенно не обращаютъ вниманія на температуру искры. Между тѣмъ извѣстно, что разрядъ конденсатора бываетъ колебательнымъ лишь въ томъ случаѣ, когда сопротивленіе цѣпи не превосходитъ извѣстнаго значенія; при большемъ сопротивленіи разрядъ непрерывный. Въ данномъ случаѣ сопротивленіе цѣпи складывается изъ двухъ частей: изъ сопротивленія проволокъ и изъ сопротивленія искры. Опыты показываютъ, что сопротивленіе искры зависитъ отъ ея длины, площади поперечнаго сѣченія, природы проводниковъ и окружающихъ ихъ газовъ, наконецъ отъ температуры. Полное сопротивленіе достигаетъ предѣльнаго значенія, ниже котораго возможны колебательные разряды, только при опредѣленной температурѣ искры. Пусть для достиженія этой температуры надо затратить энергію w. Если назовемъ C емкость, V—разность потенціаловъ, то энергію заряда можно представить такъ

$$W = \frac{CV^2}{2}.$$

Если $w < W$, то колебанія возможны; если же $w > W$, то они невозможны. Положимъ, что V постоянно и C уменьшается; при извѣстной емкости мы имѣемъ $w = W$; при меньшихъ емкостяхъ $w > W$ и разрядъ становится непрерывнымъ; слѣд. разрядъ конденсатора колебательный при большихъ емкостяхъ, становится непрерывнымъ при достаточно малыхъ емкостяхъ.

Лекторъ числовыми примѣрами показываетъ значеніе этихъ соображеній. Температуру искры можно принять въ 2000°; для достиженія этой температуры надо затратить энергію въ 8·15 эрговъ при конденсаторѣ въ 25 эл-ст. единицъ емкости и при

[1]) Conférence de M. *R. Swyngedaw*—Étude expérimentale de l'excitateur de Hertz.

длинѣ искры въ 0·1 mm. Для такого конденсатора начальная энергія равна 37·5 эрговъ. Слѣд. здѣсь w составляетъ значительную долю энергіи W.

Образованіе искры вліяетъ на разрядъ, и сопротивленіе цѣпи нельзя считать постояннымъ, какъ это обыкновенно дѣлаютъ въ теоріи Томсона. Формула Томсона въ полномъ видѣ такова

$$\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\frac{1}{CL}-\frac{R^2}{4L^2}}.$$

Если сопротивленіе, R, уменьшается, то число колебаній (т. е. $1/T$) увеличивается.

Далѣе лекторъ вошелъ въ подробности теоріи, которыхъ мы не будемъ излагать.

3. Лекція Маража: Объ измѣреніи остроты слуха[1]).

Отвлекаясь отъ психической стороны дѣла, можно сказать, что слухъ есть функція, имѣющая своимъ назначеніемъ доводить до слухового нерва колебанія, производимыя въ окружающей средѣ твердой, жидкой или газообразной. Эта функція можетъ исполняться лучше или хуже; степень ея совершенства опредѣляетъ остроту слуха, которая измѣряется акуметрами.

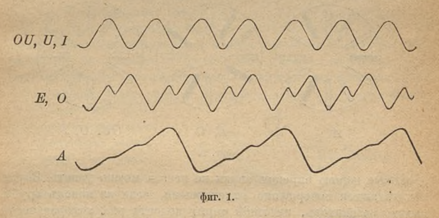
Идеальный акуметръ долженъ при опредѣленныхъ условіяхъ производить всѣ колебанія, которыя могутъ достигать до слухового нерва. Поэтому прежде всего надо изслѣдовать природу этихъ колебаній. Ихъ можно классифицировать слѣдующимъ образомъ:

Непрерывныя колеб.	неперіодическія неправильныя	шумъ	
	періодическія правильныя	простые и сложные звуки	камертоны муз. инструменты
Прерывныя колеб.	періодическія правильныя	рѣчь.	

[1]) *M. Marage*—Mesure de l'acuité auditive.

Для каждой категоріи двухъ звуковъ можно устроить соотвѣтствующій акуметръ; но акуметры, производящіе шумъ и музыкальные звуки, не даютъ точнаго указанія на то, въ какой степени мы слышимъ звуки голоса; поэтому надо было устроить приборъ, который бы могъ воспроизводить основныя колебанія гласныхъ. Такимъ приборомъ можетъ служить сирена, устройство которой сейчасъ опишемъ; оказывается, что давленіе воздуха, протекающаго чрезъ приборъ, пропорціонально силѣ издаваемаго имъ звука; послѣ этого достаточно имѣть очень чувствительный манометръ (градуированный на миллиметры воды), которымъ бы измѣрялось давленіе воздуха въ тотъ моментъ, когда мы начинаемъ слышать звукъ; если это давленіе равно n, то $1/n$ будетъ мѣрою остроты слуха. Нормальнымъ ухомъ звукъ ясно слышится при давленіи въ 1 mm.

Обращаясь теперь къ устройству акуметра, замѣтимъ предварительно, что графическое изслѣдованіе гласныхъ показало,



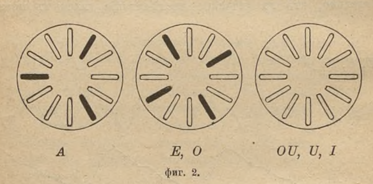
фиг. 1.

что ихъ можно раздѣлить на три группы: *OU*, *U* и *I* даютъ кривую съ однимъ періодомъ; *O* и *E* даютъ кривую съ двумя періодами и наконецъ *A* даетъ кривую съ тремя періодами (фиг. 1).

Основываясь на этихъ наблюденіяхъ, Маражъ сдѣлалъ синтезъ гласныхъ; для этого онъ схематизировалъ голосовой аппаратъ, раздѣливъ его на гортань (larynx) и на надгортанные резонаторы (résonateurs supra-laryngiens). Гортань замѣняется небольшою сиреною, приводимою въ движеніе электрическимъ токомъ; она состоитъ изъ двухъ дисковъ, наложенныхъ одинъ на другой; нижній

неподвижный дискъ снабженъ одною треугольною щелью, верхній вращающійся дискъ снабженъ рядомъ радіальныхъ щелей (фиг. 2). Буква *А*, соотвѣтствующая кривой съ тремя періодами, получается въ нашей сиренѣ, когда въ верхнемъ ея дискѣ закроемъ каждую четвертую щель; для полученія *Е* и *О* закрываютъ каждую третью щель; наконецъ для полученія *OU*, *U* и *I* всѣ щели оставляютъ открытыми. Для перехода отъ одной гласной къ другой той же категоріи надо измѣнять ширину треугольной щели нижняго диска; такъ для *О* она должна быть очень широка, а для *Е*—очень узка; кромѣ того надо измѣнять и притокъ воздуха. Оба диска помѣщаются въ плоскомъ ящикѣ съ трубою надъ треугольною щелью; воздухъ притекаетъ снизу, какъ въ обыкновенной сиренѣ.

Прежде всего можно удостовѣриться, что описанный приборъ даетъ такія же кривыя, какъ и гласные звуки. Однако из-



фиг. 2.

даваемые нашею сиреною звуки не всегда можно узнать. Звуки эти дѣлаются совершенно отчетливыми, если на конецъ трубы надѣть резонаторъ, имѣющій форму полости рта, которая соотвѣтствуетъ данной гласной.

Описанный акуметръ можетъ оказать важныя услуги при измѣреніи остроты слуха. При измѣреніяхъ, которыя дѣлались до сихъ поръ, на природу гласной не обращали вниманія. Но острота слуха очень различна для различныхъ гласныхъ: вообще *А* легко слышится, *О* и *Е*—труднѣе, *OU*, *U* и *I*—лишь съ большимъ трудомъ. При помощи описаннаго прибора можно сравнивать остроту слуха различныхъ лицъ относительно одной и той же гласной. Было установлено, что даже глухіе слышатъ шумъ отъ этой сирены; слѣд. при испытаніи призывныхъ на

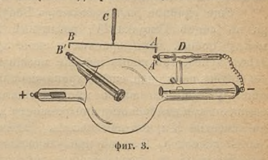
военную службу легко отличить настоящаго глухого отъ притворяющагося, ибо каждый долженъ будетъ указать предѣлъ своей воспріимчивости; и если кто-нибудь будетъ утверждать, что ничего не слышитъ, то навѣрное это—притворно-глухой.

4. Выставка.

а) *Радіографія и электротерапія.*

Со времени открытія рёнтгеновскихъ лучей ученые всѣхъ странъ отдались ихъ изученію; хотя въ результатѣ получились уже работы первостепенной важности, но увлеченіе, повидимому, еще не прошло. И въ этомъ году радіографія занимаетъ на выставкѣ одно изъ наиболѣе важныхъ мѣстъ.

Среди множества круксовскихъ трубокъ, выставленныхъ парижскими стеклодувами, выдается модель Дрислера. Извѣстно, что въ настоящее время всѣ усилія конструкторовъ направлены къ усовершенствованію регенераторской части трубокъ. Если регенерирующее вещество (калій, уголь или платину) нагрѣвать на пламени, то трубка легко можетъ лопнуть. Дрислеръ помѣщаетъ регенирирующее вещество въ небольшой дополнительный резервуаръ D (фиг. 3); при помощи металлическаго мостика AB чрезъ этотъ резервуаръ можно пропустить искру отъ анода B' и такимъ образомъ нагрѣть регенерирующее вещество, вслѣдствіе чего трубка становится „мягче“. Медики физіологи съ такою точностью изучаютъ радіографію, что явилась потребность въ болѣе точномъ опредѣленіи положенія круксовской трубки относительно флуоресцирующаго экрана или фотографической пластинки. Эта задача разрѣшается компасомъ, изобрѣтеннымъ Массіо.

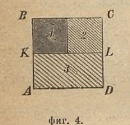


Фиг. 3.

Для истолкованія радіографическихъ изображеній особенно важно знать *точку нормальнаго паденія*, т. е. точку флуоресцирующаго экрана или чувствительной пластинки, въ которую лу-

чи падаютъ нормально; эта точка легко опредѣляется индикаторомъ, изобрѣтеннымъ механикомъ Дро (Drault).

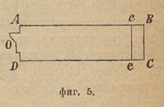
Изображеніе, получаемое на радіографіи, зависитъ главнымъ образомъ отъ количества лучей, испускаемыхъ трубкою, и отъ ихъ проникновенія. Метрорадіоскопъ Контремулена позволяетъ опредѣлить оба эти фактора двумя одновременными отсчетами. Передъ экраномъ, покрытомъ ціанисто-платиновымъ баріемъ, ставятъ діафрагму съ окошкомъ *ABCD* (фиг. 4), верхняя половина котораго (*1* и *2*) освѣщается X-лучами, а нижняя (*3*) — искуственнымъ свѣтомъ, яркость котораго принята за образецъ; для опредѣленія фактора „количество лучей" лѣвую часть (*1*) верхней половины окошка закрываютъ стекломъ, и токъ въ круксовской трубкѣ измѣняютъ до тѣхъ поръ, пока яркости освѣщенія экрана въ (*1*) и (*3*) не станутъ равными; для опредѣленія фактора „проникновеніе лучей" правую часть (*2*) верхней половины окошка закрываютъ алюминіевымъ листочкомъ такой толщины, чтобы яркость освѣщенія экрана въ (*2*) сдѣлалась одинаковою съ яркостью въ (*3*). При помощи такого прибора для каждой радіографіи можно оцѣнить употребляемые лучи, какъ въ смыслѣ ихъ количества, такъ и относительно ихъ проникновенія.



фиг. 4.

Еще удобнѣе *радіохромометръ* Бенуа (L. Benoist), профессора въ лицеѣ Генриха IV; различные X-лучи также различны между собою, какъ красные и синіе лучи; для точной оцѣнки этихъ лучей, изъ коихъ крайніе можно назвать „мягкими" лучами (rayons mous) или слабо проникающими и „твердыми" (rayons durs) лучами или сильно проникающими, Бенуа пользуется неодинаковыми измѣненіями прозрачности двухъ разныхъ тѣлъ, когда качество X-лучей измѣняется. Такимъ образомъ онъ опредѣляетъ качество X-лучей прозрачностью для нихъ одного тѣла сравнительно съ прозрачностью другого; за эти тѣла Бенуа выбралъ алюминій и серебро. Онъ соединилъ серебро, прозрачность котораго почти одинакова для всѣхъ лучей, съ алюминіемъ, прозрачность котораго весьма различна для разныхъ лучей. Радіохромометръ состоитъ изъ алюминіеваго диска, раздѣленнаго на двѣнадцать секторовъ, толщина коихъ измѣняется отъ 1 до 12 mm.; центръ диска сдѣланъ изъ серебряной пластинки въ 0·11 mm. толщины. Радіохромометрическимъ градусомъ назы-

ваютъ нумеръ алюминіеваго сектора, представляющагося подъ дѣйствіемъ X-лучей столь же яркимъ, какъ и центральный дискъ. Весь приборъ состоитъ изъ трубки *ABCD* (фиг. 5) съ отверстіемъ *O* на одномъ концѣ, къ которому прикладываютъ глазъ; другой конецъ трубки закрытъ алюминіевымъ дискомъ, передъ которымъ помѣщается флуоресцирующій экранъ *ee*. Этотъ приборъ, названный изобрѣтателемъ хромометрическою трубкою, очень удобенъ для количественнаго изслѣдованія X-лучей.



фиг. 5.

Для образованія X-лучей употребляютъ теперь преимущественно электростатическія машины, конструкція которыхъ вслѣдствіе этого значительно усовершенствовалась. Машина Дро съ шестью кругами имѣетъ лишь одинъ ремень; даже машины съ десятью кругами приводятся въ движеніе однимъ ремнемъ; движеніе ручки передается зубчатыми колесами. Машина Геффа съ двѣнадцатью кругами устроена такъ, что круги независимы другъ отъ друга; каждый кругъ можно въ отдѣльности вынуть и вычистить; въ этомъ заключается большое преимущество, ибо для того, чтобы машина дѣйствовала хорошо, надо часто чистить круги. Машина Руакура (Roycourt, succ. de Bonnetі) съ 6 кругами очень простого устройства дѣйствуетъ прекрасно.

Когда для образованія X-лучей пользуются индукторомъ, необходимо употреблять прерыватель, дѣйствующій очень быстро и совершенно правильно. Въ прошломъ году Лекармъ и Мишель выставляли свой прерыватель-толкушку[1]), имѣвшій большой успѣхъ; въ нынѣшнемъ году тѣ же конструкторы выставили *прерыватель-турбину* безъ ртути; при употребленіи этого прерывателя получаются X-лучи въ такомъ количествѣ и такого проникновенія, что позволяютъ непосредственно наблюдать біенія сердца.

Анонимное Общество (Société anonyme des anciens Etablissements Parvillée fr. & C-ie) выставило нагрѣвающія лампочки, потребляющія 200 wt (lampes de chauffage à l'air libre); стеклянный сосудъ, защищающій уголекъ, сообщается съ внѣшнимъ воздухомъ; это совершенно устраняетъ всякую возможность взрывовъ, часто

[1]) См. *Физическое Обозрѣніе* 2 т. (1901) стр. 252.

происходящихъ въ лампочкахъ съ большимъ потребленіемъ электрической энергіи.

Эти лампы спеціально предназначены для медицинскихъ цѣлей примѣненія электрической теплоты; но ихъ употребляютъ и для нагрѣванія комнатныхъ печей. Между медицинскими приборами, основанными на электрическомъ нагрѣваніи, отмѣтимъ: 1) электрическій горчичникъ (cataplasme électrique), потребляющій 0·2 amp. при 110 volt; при помощи регулятора больной можетъ регулировать температуру и поддерживать періодическій притокъ тепла, имѣющій чрезвычайно важное терапевтическое значеніе, и 2) электрическій поясъ, предназначаемый противъ ревматизма.

b) *Освѣтительные и др. техническіе приборы.*

Среди освѣтительныхъ приборовъ, выставленныхъ въ нынѣшнемъ году, выдѣляется *электрическій экономизаторъ* Вейсмана и Витса (économiseur électrique de Ms. Weissmann et Wydts); это маленькій трансформаторъ (10 cm. × 10 cm.), помѣщающійся въ цѣпь отъ 100 до 220 volt; онъ понижаетъ напряженіе до 25 volt. Изобрѣтатели утверждаютъ, что ихъ приборъ даетъ экономію отъ 40 до 50%; онъ особенно примѣнимъ къ маленькимъ лампочкамъ, употребляемымъ теперь въ люстрахъ, и очень распространенъ въ Парижѣ.

Разсѣвающій радіаторъ (radiateur diffuseur), употребляемый въ дуговой лампѣ, есть дискъ, сдѣланный изъ огнеупорнаго вещества, пропитаннаго особымъ составомъ; въ вольтовой дугѣ этотъ дискъ раскаляется и испускаетъ ослѣпительный свѣтъ.

Ацетиленъ сильно конкурируетъ съ электричествомъ. Ацетиленовое Общество (Compagnie universelle d'acétylène) для полученія газа употребляетъ способъ паденія воды на карбидъ, а не карбида въ воду. Это Общество выставило разные приборы, какъ техническіе, такъ и для домашняго употребленія. Общество рекомендуетъ употреблять смѣсь ацетилена съ воздухомъ; такая смѣсь выгоднѣе чистаго ацетилена и не загрязняетъ горѣлки.

Общество раствореннаго ацетилена (C-ie Française de l'acétylène dissous) демонстрировало самоспаиваніе (soudure autogène) металловъ. Этого достигаютъ при помощи горящей струи ацетилена, смѣшаннаго съ парами эфира; температура этого пламени очень высока, около 4000°; въ желѣзной полосѣ, на которую на-

правляютъ такое пламя, тотчасъ же образуется дыра. Спаиваемыя желѣзныя пластинки складываются краями, вдоль которыхъ проводятъ пламенемъ: пластинки тотчасъ же сращиваются. Для спаиванія толстыхъ пластинъ, по ихъ краямъ водятъ кусокъ желѣза, который въ то же время расплавляютъ ацетиленовымъ пламенемъ; этотъ расплавленный металлъ и образуетъ собственно спайку. Описанный способъ примѣнимъ къ желѣзу и стали, но не къ чугуну.

Въ большомъ вестибюлѣ, среди цвѣтовъ и зелени былъ устроенъ электрическій каскадъ: при помощи по очереди засвѣчивающихся и затухающихъ лампочекъ, свѣтъ опускается, какъ огненный водопадъ. Коммутаторъ, приводящій въ дѣйствіе эти многочисленныя лампочки, состоитъ изъ большого числа граммовскихъ колецъ, снабженныхъ различными контактами. Подобные же коммутаторы приводятъ въ дѣйствіе свѣтящія вывѣски, которыя по вечерамъ вызываютъ удивленіе парижанъ.

Въ аккумуляторахъ все еще не рѣшена задача о томъ, какъ помѣшать активному веществу выпадать изъ рѣшетки, въ которую оно вмазано. Въ одномъ изъ новыхъ типовъ, представляемыхъ Фреде, электроды окружены свинцовою сѣткою, въ другомъ—электроды раздѣлены очень тонкими пористыми перегородками, проницаемыми для жидкости; такіе аккумуляторы имѣютъ ничтожное сопротивленіе (отъ 2 до 3 тысячныхъ ома) и потому могутъ заряжаться и разряжаться очень сильными токами; къ тому же ихъ очень легко переносить.

c) *Научные и лекціонные приборы.*

Занимавшіеся преподаваніемъ знаютъ трудность, которая встрѣчается при доказательствѣ простыхъ законовъ, какъ законъ Маріотта, принципъ барометра, теорія ртутнаго насоса, законъ насыщенныхъ паровъ; для каждаго изъ нихъ нуженъ спеціальный приборъ; между тѣмъ въ маленькихъ школахъ всегда бываетъ недостатокъ въ приборахъ. Лебланъ, инспекторъ начальнаго преподаванія, устроилъ очень простой приборъ, съ которымъ можно дѣлать всѣ выше упомянутые опыты [1]).

---

[1]) Приборъ Леблана въ сущности не отличается отъ прибора Вейнгольда и Фейлича (См. *Физическое Обозрѣніе*, т. 1, стр. 96). *Прим. ред.*

Проф. Лоозеръ изъ Эссена выставилъ дифференціальный термоскопъ, позволяющій производить всѣ лекціонные опыты по теплотѣ.

Остановимся на одномъ изъ приборовъ Ледюка и Сасердота, предназначенныхъ для обнаруженія сцѣпленія въ жидкостяхъ.

Идея опыта очень проста. Извѣстно, что веревка, стеклянный или металлическій стержень, укрѣпленный за верхній конецъ, не разрывается, не смотря на свое растяженіе, потому, что между послѣдовательными слоями твердаго тѣла дѣйствуютъ бóльшія соединительныя силы, называемыя *силами сцѣпленія*; если назовемъ p вѣсъ стержня ниже сѣченія, площадь коего s, то растяженіе здѣсь будетъ p/s.

Если бы намъ удалось осуществить непрерывный жидкій столбъ, укрѣпленный за верхній конецъ, то можно было бы утверждать, что жидкость обладаетъ сцѣпленіемъ, и что оно больше p/s, гдѣ p означаетъ вѣсъ нашего столба жидкости и s —площадь его поперечнаго сѣченія.

Если длина нашего твердаго и жидкаго столба непрерывно возрастаетъ, то тяжесть наконецъ преодолѣетъ сцѣпленіе, и столбъ разорвется; конечно, слѣдовало бы ожидать разрыва въ верхней части столба, гдѣ натяженіе наибольшее; въ дѣйствительности же онъ можетъ произойти всюду, въ слабѣйшемъ мѣстѣ, тамъ, гдѣ въ жидкости имѣется даже невидимый пузырекъ воздуха.

Впрочемъ болѣе или менѣе сильныя колебанія могутъ вызвать разрывъ гораздо раньше, чѣмъ достигнутъ предѣлъ сцѣпленія.

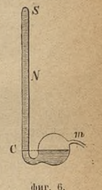
Извѣстный опытъ Тайлора, сдѣланный для обнаруженія сцѣпленія въ жидкости, состоитъ въ слѣдующемъ. Стеклянный дискъ подвѣшивается горизонтально къ одной чашкѣ вѣсовъ и уравновѣшивается; къ диску подносятъ воду такъ, чтобы нижняя его сторона пришла въ соприкосновеніе съ водою; вода прилипаетъ къ диску и, если класть грузы на другую чашку, дискъ поднимаетъ за собою столбъ жидкости въ 5 или 6 mm. высоты.

Въ большинствѣ учебниковъ этотъ опытъ объясняется такъ: верхній слой жидкости пристаетъ къ диску и увлекаетъ за собою слѣдующій слой, соединенный съ нимъ сцѣпленіемъ. Можно доказать, что такое объясненіе совершенно ошибочно и что сцѣпленіе тутъ не при чемъ. Опытъ Тайлора легко понять изъ слѣдующаго сравненія. Вообразимъ себѣ водяной насосъ съ гибкими стѣнками, напр. изъ тонкаго каучука; если поршень, прикасающійся къ водѣ, поднять, то за нимъ поднимается и вода,

вгоняемая атмосфернымъ давленіемъ, и въ то же время стѣнки трубы продавятся вслѣдствіе избытка внѣшняго давленія надъ внутреннимъ.

Опытъ Тайлора совершенно аналогиченъ только-что описанному; прогибающіяся стѣнки образуются поверхностнымъ слоемъ жидкости; здѣсь опять атмосферное давленіе заставляетъ подниматься воду въ этомъ своего рода насосѣ.

Ледюкъ и Сасердотъ сдѣлали свой опытъ съ укороченнымъ барометромъ. Стеклянная трубка, запаянная сверху и нижній конецъ которой отогнутъ, наполняется до верху водою, очищенною отъ воздуха. Вода не выливается изъ запаянной трубки; но это не потому, что на воду въ короткомъ колѣнѣ давитъ атмосферный воздухъ, ибо вода не выливается даже въ томъ случаѣ, когда воздухъ въ короткомъ колѣнѣ разряженъ и когда здѣсь давленіе много меньше давленія столба жидкости въ длинномъ колѣнѣ. Если столбъ CN (фиг. 6) уравновѣшиваетъ давленіе въ короткомъ колѣнѣ, то верхняя часть SN столба образуетъ родъ „водяной верёвки", подвѣшенной къ вершинѣ трубки и благодаря сцѣпленію не разрывающейся, не смотря на свое растяженіе.



Фиг. 6.

Для измѣренія этого сцѣпленія стоило бы подвѣшивать такимъ образомъ столбъ жидкости все болѣе и болѣе длинный, пока онъ не разорвется.

Въ одномъ изъ приборовъ, предназначаемыхъ для лекціонныхъ демонстрацій, длина водяного столба NS была 1·35 m.; въ короткомъ колѣнѣ воздухъ почти совершенно выкачивался и тамъ оставались лишь одни водяные пары (упругости въ 20 cm. воды). Въ Сорбоннѣ былъ сдѣланъ опытъ съ трубкою въ 5·3 m.; столбъ воды разрывался только, когда трубку (треніемъ пальцевъ) заставляли сильно колебаться. Слѣдовательно сцѣпленіе воды больше давленія столба воды въ 5 m.

Опытъ Бертело, повторенный Вортингтономъ, подтверждаетъ соображенія Ледюка и Сасердота о томъ, что сцѣпленіе жидкостей гораздо больше, чѣмъ предполагали прежде. Стеклянную трубку почти всю наполняютъ жидкостью, удаляютъ воздухъ и затѣмъ запаиваютъ; при нагрѣваніи жидкости оставшаяся пустота исчезаетъ; если же трубку охлаждать, то она долгое

время остается заполненною; при этомъ жидкость подвергается растяженію, которое увеличивается вмѣстѣ съ охлажденіемъ. При извѣстной температурѣ происходитъ сухой трескъ, и въ одномъ мѣстѣ жидкаго столба появляется пустота. Зная разность температуръ заполненія и разрыва, а также сжимаемость и термическое расширеніе жидкости, можно вычислить растяженіе, которому подвергалась жидкость. Такъ для этиловаго алкоголя разрывъ имѣетъ мѣсто при растяженіи въ 17 atm.

Парижъ, май 1902.



Физическій кабинетъ.

12) *Линейчатый спектръ.* Фирма Сименса и Гальске въ Берлинѣ начала изготовлять теперь угли для полученія такъ называемой *пламенной дуги* (Flamenbogen); въ составъ этихъ углей входятъ соли щелочныхъ и щелочно-земельныхъ металловъ. Эти угли даютъ очень яркую (вдвое болѣе яркую, чѣмъ обыкновенные угли) и длинную дугу (въ 50—60 mm.), которая представляетъ изъ себя раскаленный паръ соотвѣтственнаго металла, испускающій яркіе лучи.

Угли, служащіе для полученія пламенной дуги, могутъ быть съ большимъ успѣхомъ примѣнены къ демонстраціи линейчатаго спектра. Пламенный уголь помѣщаютъ внизу и соединяютъ съ положительнымъ полюсомъ батареи, а вверху ставятъ уголь съ фитилемъ (марки *A*) и соединяютъ его съ отрицательнымъ полюсомъ. При токѣ въ 15 amp. и діаметрахъ углей: пламеннаго 13 mm. и фитильнаго 11 mm., въ теченіе произвольно долгаго времени получается чрезвычайно яркій спектръ (болѣе яркій, чѣмъ при введеніи металла въ обыкновенную дугу отъ тока въ 50 amp.).

Въ продажѣ существуютъ пламенные угли слѣдующихъ марокъ: 1) „желтый", который даетъ спектръ Ca и Na, 2) „красный"—спектръ Sr и 3) „молочно-бѣлый"—спектръ Ba и K.

(Варшава, *А. А. Трусевичъ*).

Конецъ 3-го тома.